Laborsicherheit Skriptum Teil 2

0 Inhalt

Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit sind ein ausbildungs- und berufsbegleitender Lernprozess. Sie erfordern eine lebenslange Bewusstseinsbildung und fördern die laufende Verbesserung sicherer Arbeitsbedingungen.

Dieses Skriptum ist daher so konzipiert, dass es zusammen mit der Broschüre SICHER ARBEITEN im gesamten Studium und teilweise im späteren Beruf zum Nachschauen und zum Überlegen besonderer Situationen **dienen kann.** Es ist daher zu empfehlen, diese Unterlagen griffbereit zu halten.

Alle Angaben werden nach bestem Wissen auf Grundlage sorgfältiger Recherchen gemacht; eine Gewährleistung dafür kann dennoch nicht übernommen werden.

13 Sicherer Umgang mit Druckgasflaschen

Siehe dazu Abschnitt 4.6.3 in SICHER ARBEITEN.

13.1 Arten, Kennzeichnung, Gefahren und Handhabung

Druckgasflaschen *[gas cylinders]* stellen schon aufgrund ihres **Gewichtes** und der **kleinen Standfläche** eine enorme Gefahr dar. Eine **leere 50 ℓ-Druckgasflasche** hat eine Masse von etwa 60 kg. Dazu kommt das Füllgewicht, das von 13 kg (komprimiertes Gas, zB Stickstoff) bis zu etwa 60 kg (unter Druck verflüssigtes Gas, zB CO_2, Cl_2, HCl, NO_2) reichen kann.

Der **Flaschendruck** beträgt bei komprimierten Gasen bis zu 200 bar.

13.1.1 Farbkennzeichnung von Druckgasflaschen

Zusätzlich zu einem Klebeetikett, das über den Flascheninhalt und über Gefahrenhinweise informiert, tragen Druckgasflaschen eine Farbkennzeichnung. Diese muss als zumindest 5 cm breiter Ring um die Flasche in ihrem oberen Bereich ausgeführt sein; meist hat der ganze obere Bereich der Flasche die entsprechende Kennfarbe. Für einige Gase und Gasmischungen ist als näherer Hinweis auf den Flascheninhalt ein Zusatzfarbring vorgesehen (die Einzelheiten findet man in der ÖNORM EN 1089-3: Ortsbewegliche Gasflaschen – Gasflaschen-Kennzeichnung – Teil 3: Farbcodierung; *Transportable gas cylinders – Cylinder identification – Colour coding*).

Die Tabelle gibt einen vereinfachten Überblick über einige Kennfarben.

Gas	Farbe	Flaschenanschluss
brennbare Gase (außer Acetylen) (zB: H_2, Alkane, H_2S, Silan, Ethylenoxid, PH_3, brennbare Amine ...)	**rot**	Gewinde linksgängig
Sauerstoff	spätestens **seit 7.2006:** **weiß** früher: blau *)	Gewinde rechtsgängig
Stickstoff	**hellgrün** oder **schwarz**	Gewinde rechtsgängig
Acetylen	**jetzt:** **kastanienbraun** bis Ende 2001: weiß *)	Bügelanschluss
Giftige und/oder korrosive Gase	früher und zT noch immer: **grau** Umstellung auf: **gelb**	Gewinde rechtsgängig (außer brennbare Gase)
alle anderen Gase (CO_2, Pressluft...)	**grau**	Gewinde rechtsgängig

***)** Achtung: Zur internationalen Vereinheitlichung wurde in Österreich und in der BRD **bis Ende 2001** die Kennfarbe für **Acetylen von weiß auf kastanienbraun geändert**. – Die Kennfarbe für **Sauerstoff wurde** ab 2002 bis Mitte 2006 **von blau auf weiß** geändert. Dies ist sicherheitstechnisch besonders heikel, da

früher die Acetylen-Flaschen weiß waren und nun die Sauerstoffflaschen weiß sind ! Auch einige weitere Kennfarben werden umgestellt. Die neuen Farbkennzeichnungen weisen in den nächsten Jahren zusätzlich groß den aufgemalten Buchstaben „N“ (für „neu“) auf. Für medizinische Gase bestehen Sonderregelungen.

13.1.2 Hauptgefahren im Zusammenhang mit Druckgasflaschen

- Umfallen der Flasche:
  - schwerste Verletzungen möglich, vor allem an den Füßen
  - Ventilabriss bei Aufprall des Ventils auf ein festes Hindernis → „Torpedo-Wirkung“ durch schlagartig austretendes Gas → die Flasche kann Zwischenwände und das Mobiliar durchschlagen
  - Mit Schlauchleitung angeschlossene Apparaturen können vom Tisch gerissen werden
- Brandeinwirkung oder sonstige Hitzeeinwirkung:
  - Zerknall der Stahlflasche → Die aufgerissene Flasche kann Dutzende Meter geschleudert werden und auch Wände durchschlagen.
- Undichter Anschluss, mit Gewalt geöffnetes/geschlossenes Flaschenventil:
  - Ausströmen giftigen Gases
  - Entstehen eines explosiven Gas-Luft-Gemisches
- Gefahren durch korrosiven Inhalt und zu lange Lagerung:
  - Korrosive Gase (HF, F_2, HBr, HCl ...) können das Flaschenventil zB von lecture bottles, so angreifen, dass sich dieses nicht mehr öffnen oder – schlimmer – nicht mehr schließen lässt.
  - Reaktion va von HF und HBr mit dem Flaschenmaterial unter Bildung von H_2 kann langfristig eine gefährliche Druckerhöhung bewirken (Abschnitt 5.1.3).
  - ➔ Druckgasflaschen mit korrosivem/reaktivem Inhalt sollen nicht länger als 2 Jahre gelagert werden. (Lit.: Bailey J., etal., Management of time sensitive chemicals (I): Misconceptions leading to incidents, Chem Health & Safety, Sep/Oct 2004, 14–17.)

13.1.3 Sicherheitsmaßnahmen beim Transport

Druckgasflaschen (ausgenommen die unten erwähnten Kleinpackungen, sog „lecture bottles“), dürfen

- **nur mit aufgeschraubter Schutzkappe** und
- **nur mit dem Flaschenwagen** (Flaschenrodel) und auf diesem
- **nur angekettet** gegen Umfallen transportiert werden.

13.1.4 Aufstellung von Druckgasflaschen für Gebrauch oder Lagerung

Druckgasflaschen – gleichgültig ob voll oder leer – müssen überall, wo sie aufgestellt sind, *zuverlässig gegen Umfallen gesichert* werden. Dies geschieht in der Regel durch Anketten oder Einspannen.

Kein zuverlässiger Schutz ist zB das Anbinden mit Schnur, Draht oder Gasschlauch !

Wo Druckgasflaschen zB durch Transportwagen angestoßen werden können, sollen sie oben und unten angekettet werden.

Falls zur Steigerung des Gasflusses von Gasen, die verflüssigt in der Druckgasflasche vorliegen, die Flasche erwärmt werden soll, **dürfen 40 °C keinesfalls überschritten** werden (Erwärmen nur mit feuchten heißen Tüchern). Die Missachtung dieser Regel hat zu schweren Unfällen durch Zerknall geführt.

Druckgasflaschen dürfen aus dem selben Grund auch ***nicht*** **längere Zeit in der prallen Sonne stehen.**

Im Labor sollen stets die kleinsten Druckgasflaschen verwendet werden, die für den jeweiligen Zweck ausreichend sind. Das ist in besonderem Maße bei (sehr) giftigen oder krebserzeugenden Gasen zu beachten.

Bei diesen Gasen oder wenn ein Gas in nur geringen Mengen für eine Reaktion oder als Probe (Prüfgas, Referenzgas, Eichgas) benötigt wird, genügt oft eine sog „lecture bottle". Das ist eine Kleinpackung (Kleinstahlflasche oder Aluminiumdruckdose) mit einem geometrischen Volumen von meist zwischen 0,385 ℓ und 1 ℓ. Bei einem Flaschendruck von beispielsweise 10 bar (bei Kleinstahlflaschen bis 150 bar) stehen dann entsprechende Mengen des Gases zu Verfügung. Diese Kleinpackungen können außerdem problemlos im Abzug eingespannt und verwendet werden. In „lecture bottles" sind beispielsweise Nitrosylchlorid, Bortrichlorid, HF, HCl, HBr, CO, NO, Propen, Phosgen oder Dimethylether erhältlich.

Im Labor dürfen nur jene Druckgasflaschen vorhanden sein, die gerade benötigt werden. Eine Aufbewahrung (Lagerung) im Labor ist verboten – auch wegen der großen Gefahren im Brandfall (Zerknall). Laboratorien, in denen Druckgasflaschen aufgestellt sind, sollen an der Tür mit dem Warnzeichen „Warnung vor Gasflaschen" gekennzeichnet sein.


Warnung vor Gasflaschen

Dadurch ist der Feuerwehr und den HelferInnen im Brandfall die rasche Gefahrenerkennung möglich.

Wenn im Labor laufend Druckgasflaschen (zB für die Gaschromatographie) benötigt werden, sollen diese in einem **brandsicheren Druckgasflaschenschrank** aufgestellt werden. Derartige Flaschenschränke entsprechen dem Stand der Sicherheitstechnik und sind in modernen Labors üblich. Die Entnahmearmaturen in solchen Schränken erlauben den Flaschenwechsel ohne Unterbrechung der Gasversorgung und ohne Eindringen von Luft in das System. Flaschen mit brennbaren Gasen (zB H_2) dürfen nicht im selben Sicherheitsschrank wie solche mit brandfördernden Gasen (zB O_2) aufgestellt werden.

Eine andere sichere Möglichkeit stellt eine **zentrale Laborgasversorgung** dar, bei der die Gase in einer zentralen Entspannungsstation (Gaszentrale) entnommen und über ein Verteilungsnetz zu den Entnahmestellen in den Labors gebracht werden.

Eine zentrale Laborgasversorgung hat auch praktische Vorteile: Druckgasflaschen müssen nur in den Raum der Gaszentrale transportiert werden, der meist im Erdgeschoss in einem durchlüfteten Nebengebäude liegt. Spezialarmaturen verhindern das Eindringen von Luft beim Flaschenwechsel. Es sind insgesamt weniger Flaschen nötig, wodurch sich die – oft beträchtlichen – Flaschen-Mietkosten verringern.

Schläuche müssen mittels Schlauchklemmen etc **gegen Herunterrutschen gesichert** werden.

13.2 *Entnahme des Gases:*
Nadelventil ↔ Druckminderer („Reduzierventil“)

Nadelventile dürfen nicht als Druckminderer eingesetzt werden – sie sind nur „Strömungsbegrenzer“:

- Aus dem **Nadelventil** strömt solange Gas aus, bis der Druck, der in der Druckgasflasche bei der jeweiligen Temperatur herrscht, erreicht ist.
  (Schemazeichnung eines Nadelventils siehe in SICHER ARBEITEN.)
- Nach dem **Druckminderer** (Reduzierventil) kann nur der an diesem eingestellte Druck erreicht werden. (Der Volumenstrom wird zusätzlich durch ein Nadelventil geregelt.)

Nadelventile werden nur für die gasförmige Entnahme von unter Druck verflüssigten Gasen eingesetzt. Für stark korrosive Gase (zB Cl_2, HCl, F_2, ...) stellen sie in der Regel die einzig verwendbaren Ventile dar. Doch können diese aggressiven Stoffe auch Nadelventile so stark korrodieren, dass sie nicht mehr durchgängig sind.

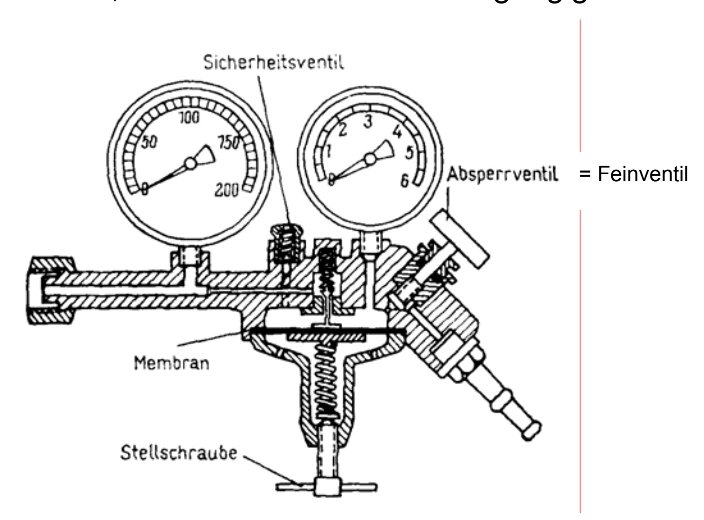


Abbildung: Druckminderer

Bedienungsreihenfolge zur Entnahme von Gas:

1. Die Stellschraube des Druckminderers („Spindel“) muss durch Herausschrauben (dh Drehen in Richtung „drucklos“) gelockert sein; (Siehe Abbildung; ein andere Bauart zeigt die Abbildung in SICHER ARBEITEN.) Das Feinventil („Absperrventil“, Feinregulierventil, Kegelventil) muss geschlossen sein.
2. **Das Flaschenventil** *(cylinder valve)* **langsam per Hand öffnen**
   Das entsprechende Manometer zeigt daraufhin den Flaschendruck an. Ventile von Flaschen mit brennbaren oder oxidierenden Gasen (zB H_2, O_2, N_2O, F_2, Cl_2) müssen langsam geöffnet werden, um eine allfällige Entzündung dieser Gase bzw Ventilbrände zu vermeiden (siehe Abschnitt 13.3).
   Lässt sich das Flaschenventil nicht mit der Hand öffnen, so darf dies *nicht* mit Drehmoment-erhöhenden Werkzeugen (zB Zange) versucht werden. Das Ventil könnte beschädigt sein bzw beschädigt werden, könnte dadurch undicht werden oder sich nicht mehr schließen lassen. Kennzeichnen Sie solche Flaschen deutlich ! Diese Flaschen müssen mit der entsprechenden Zusatzinformation an den Füllbetrieb retourniert werden !

3. Die Stellschraube **langsam** und unter Beobachtung des Niederdruckmanometers **hineindrehen,** bis dieses Manometer (in der Abb. rechts) den gewünschten Druck anzeigt.
4. Den gewünschten Volumenfluss mit dem Feinventil (Absperrventil) einstellen.

Beenden der Gasentnahme:

1. Flaschenventil schließen. – Das Reduzierventil darf nicht unnötig unter Druck belassen werden!
2. Warten, bis der Druck sich von selbst durch weiteres Ausströmen aus dem Reduzierventil abbaut. Am Flaschendruckmanometer kann man nun den langsame Abbau des Hochdruckes im Druckminderer zu verfolgen. — *Achtung:* Die Stellschraube darf jetzt nicht hingedreht werden (um einen höheren Solldruck einzustellen, sodass der Hochdruckteil schneller entspannt wird), denn dies kann zu einem gefährlichen Druckstoß führen, der Flüssigkeit (zB aus der Tauchung) verspritzen oder die Apparatur beschädigen kann.
3. Zuletzt das Feinventil schließen.

Entnahmearmaturen dürfen niemals ohne vorherige Reinigung für Gase verwendet werden, die mit dem Gas, für das sie zuerst verwendet wurden, reagieren können (Spülen mit einem inerten Gas).

CO darf niemals in Kontakt mit Nickel oder Nickel-haltigen Armaturen kommen (Druckminderer, Manometer, Leitungen), weil sonst das äußerst toxische $Ni(CO)_4$ (Nickeltetracarbonyl) entsteht.

13.3 Oxidierende Gase (Sauerstoff, N_2O, Cl_2 ...)

In **Sauerstoff** brennen oder explodieren praktisch alle organischen Stoffe. Sauerstoff kann eine Selbstentzündung von organischen Stoffen oder von Textilien die mit organischen Stoffen verunreinigt sind, bewirken.
Ähnliches gilt für das gleichfalls stark oxidierende, brandfördernde **N_2O** (Lachgas).

Eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Luft von 21 $\%^v/v$ auf 24 % erhöht die Verbrennungsgeschwindigkeit auf das Doppelte ! Bei ~25 % brennen Textilen und Öl schon sehr lebhaft. Glimmende Materialien geraten bei 28 % in Brand. Bereits bei einem O_2-Anteil von 40 % verläuft die Verbrennung **zehn Mal rascher als normal.** Dabei brennen auch viele üblicherweise unentzündbare Gegenstände oder schwerentzündliche Stoffe heftig. Bei erhöhter O_2-Konzentration ist weniger Energie nötig, um die Oxidation in Gang zu setzen: Funken, die in normaler Atmosphäre gefahrlos sind, können einen Brand entfachen.

Bei erhöhen Sauerstoffkonzentrationen können sich sicherheitstechnische Kenndaten wie zB die Explosionsgrenzen (Abschnitt 19.5) oder die Flammentemperatur verändern.

Bei weniger als 8 % O_2 findet hingegen in der Regel keine Verbrennung statt.

Sauerstoff kann für relativ lange Zeit in der Kleidung (Arbeitsmantel), in Haaren bzw im Bart **adsorbiert** werden. Bei Berührung mit einer Flamme, Glut oder einem Funken brennen diese sofort lichterloh. (Löschdecken sind zur Brandlöschung nutzlos !)

Das **Flaschenventil** einer Druckgasflasche mit Sauerstoff **darf nicht rasch und nicht ruckartig geöffnet werden**, um das Risiko des Ausbrennens des Ventils (Metallbrand!) beim Vorhandensein geringer (organischer) Verunreinigungen zu vermindern:
Beim rückartigen Öffnen von Absperrventilen, die unter hohem Druck stehen (Flaschenfülldruck bis zu 300 bar), kommt es zu einem Druckstoß mit hohen Temperaturen. Beispielsweise erhitzt sich O_2 auf 410 °C, wenn er von 1 bar (bei 20 °C) auf 25 bar adiabatisch komprimiert wird. Bei einer Verdichtung von 1 bar auf 100 bar steigt seine Temperatur bereits auf 720 °C ! Diese Temperaturen können eine explosionsartige Verbrennung von organischen Materialien oder Verunreinigungen (zB Staub oder fett- und ölhaltige Partikel im Druckminderer auslösen. Dieser Brand kann dann auf das Ventil selbst übergreifen.

Hinweis zur Verbindung von Theorie und Praxis:

In der erwähnten Vermeidung einer plötzlichen Druckerhöhung finden wir eine wichtige sicherheitstechnische Anwendung der POISSONschen Gleichung für die adiabatische Kompression eines Gases

$$T/p^{(1-1/\kappa)} = \text{const.} \quad \text{mit } \kappa \equiv c_p/c_v > 1.$$

Äquivalent gilt

$T_1 / T_2 = (p_1 / p_2)^{(\kappa-1)/\kappa}$, woraus sich die bei adiabatischer Druckerhöhung entstehende Temperatur errechnen lässt.

Als weitere Anwendung dieser Gesetzmäßigkeit ist an den Dieselmotor zu erinnern. Bei der adiabatischen Kompression der Luft (1 bar, 25 °C) auf 38 bar wird diese auf 570 °C erhitzt, was die Zündtemperatur des Aerosols von Dieseltreibstoff übersteigt.
Auch die Druckwelle einer Explosion geht auf diesem Grund mit einer starken Erhitzung des von der Druckwelle betroffenen Gasvolumens einher.

Armaturen für Sauerstoff und andere oxidierende Gase dürfen daher **niemals geschmiert, geölt** oder auch nur mit fetten Fingern (Hautcreme, Hautschutzsalbe) berührt werden. Reste von Lösungsmitteln, die zur Entfettung verwendet wurden, müssen durch vollständiges Abdunsten oder Abblasen entfernt werden. Manometer für Sauerstoff tragen die Aufschrift: „Sauerstoff! Öl- und fettfrei halten!". Für Sauerstoff dürfen daher auch nur spezielle Dichtungen verwendet werden.

13.4 Gasgeneratoren

Bestimmter Reinstgase können vor Ort und nach Bedarf mit sog Reinstgasgeneratoren erzeugt werden. Diese Möglichkeit ist jedoch auf eine geringe Zahl an Gasen wie zB N_2, O_2, kohlenstofffreie Luft, CO_2-freie Luft, wie sie für den Betrieb bestimmter Analysegeräte benötigt wird, beschränkt. Es sind Volumenströme bis zu etwa 100 mℓ/min erreichbar. Für geeignete Anwendungen können Reinstgasgeneratoren den Transport, die Bereithaltung und die Verwendung von Druckgasflaschen ersetzen.

14 Gaseinleiten in Apparaturen

Ergänzend zu Abschnitt 4.6.3 in SICHER ARBEITEN.

14.1 Zu beherrschende Störfälle

Die Möglichkeit, dass sich in einer Apparatur ein gefährlicher Überdruck aufbauen kann, muss bereits durch die Gestaltung und den Aufbau der Apparatur selbst ausgeschlossen sein.

Wie in Abschnitt 13.2 erläutert wurde, ist ein Nadelventil an der Druckgasflasche zur Druckbegrenzung *nicht* geeignet.

Glasapparaturen dürfen höchstens einem Überdruck von 0,5 bar ausgesetzt werden. Aber auch dann ist eine Splitterschutzscheibe gegen die Folgen eines Zerknalls nötig. Für Reaktionen unter Druck verwendet man Spezialapparaturen (Autoklaven), für die eigene Sicherheitsbestimmungen bestehen — siehe SICHER ARBEITEN Abschnitt 4.6 4.).

Als mögliche Störfälle bei Gaseinleitapparaturen sind jedenfalls anzunehmen:

- **Das Verstopfen des Gasdurchganges durch die Apparatur**
  zB: Verlegen des Einleitrohres (zB durch ein festes Reaktionsprodukt);
  Verlegen eines vorgeschalteten Gastrockenturmes oder Gasreinigungsturmes;
  Verlegen eines nachgeschalteten Trockenrohres.
- **Das Zurücksteigen (bzw das Zurückdrücken) von Flüssigkeit** entgegen der Strömungsrichtung des Gases
  zB durch begierige Absorption des Gases durch den Reaktionspartner; durch Temperaturänderungen, Druckänderungen (zB über Nacht)

14.2 Sicherheitsvorkehrungen

Folgende **Sicherheitseinrichtungen** gegen die vorhersehbaren Gefahren in Gaseinleitungsapparaturen sind **zwingend notwendig** (siehe auch das nachfolgende beispielhafte Schaltschema):

- Gegen die gefährlichen Folgen des **Verlegens** des Gasweges muss eine **Tauchung** eingebaut sein. Eine Tauchung ist ein als Flüssigkeitssperre ausgebildetes Überdruckventil. Durch die Füllhöhe der Tauchung und durch die Dichte der Tauchflüssigkeit kann der Druck in der Apparatur vorgegeben werden. Häufig wird dazu konz Schwefelsäure verwendet — *Achtung: Bei Druckstößen kann es zum Verspritzen von Säure aus der Tauchung kommen !* **Das zumeist seitlich wegstehende offene Rohr**, über das die Tauchung mit dem Umgebungsdruck in Verbindung steht, **darf daher nicht nach vorne** (dh auf Personen) **gerichtet sein!**
- Als Rohr zur Einleitung in die Reaktionsmischung soll ein weites Glasrohr verwendet werden, keinesfalls aber zB eine Pasteurpipette, die sich wegen ihres dünn auslaufenden Endes besonders leicht verstopfen kann.

- Zur sicheren Beherrschung des **Zurücksteigens** von Flüssigkeiten sind **Sicherheitswaschflaschen** einzubauen:
  - Damit trifft man Vorsorge gegen gefährliche Auswirkungen des **Zurücksteigens der Reaktionsmischung** und des **Zurücksteigens von vorgeschalteten oder nachgeschalteten Waschflaschen** (und Blasenzählern) sowie gegen jedes **Zurücksteigen einer Flüssigkeit in die Druckgasflasche.** Bei Ausbildung eines Unterdrucks, zB durch Temperaturabfall (Nacht!), kann nämlich auch die Tauchung zurück steigen!
  - Jede Sicherheitswaschflasche muss das **gesamte Volumen aufnehmen können,** das im Störfall eventuell zurück steigen kann.
  - Wenn der Inhalt des Reaktionskolbens gekühlt wird, muss auch die Sicherheitswaschflasche, in welche dieser zurücksteigen könnte, **gekühlt** werden.
  - **Weitere Sicherheitswaschflaschen** sind zwischen der Tauchung, den Waschflaschen und dem Reaktionsgefäß sowie zwischen den einzelnen Waschflaschen einzubauen, **wenn die Flüssigkeiten in benachbarten Gefäßen miteinander nicht verträglich sind** (zB Säuren und Laugen).
  - Planen Sie die richtige Anordnung und den **richtigen Anschluss** der Waschflaschen **vor dem Aufbau** der Apparatur ! Überprüfen Sie die richtige Anordnung **vor der Inbetriebnahme** nochmals !
- Waschflaschen und Tauchung müssen gegen Umfallen **eingespannt** werden.
- Die **Schliffe** aller Waschflaschen sind **gegen Herausdrücken zu sichern.**
- Alle **Schläuche** müssen **gegen Abrutschen gesichert** werden.

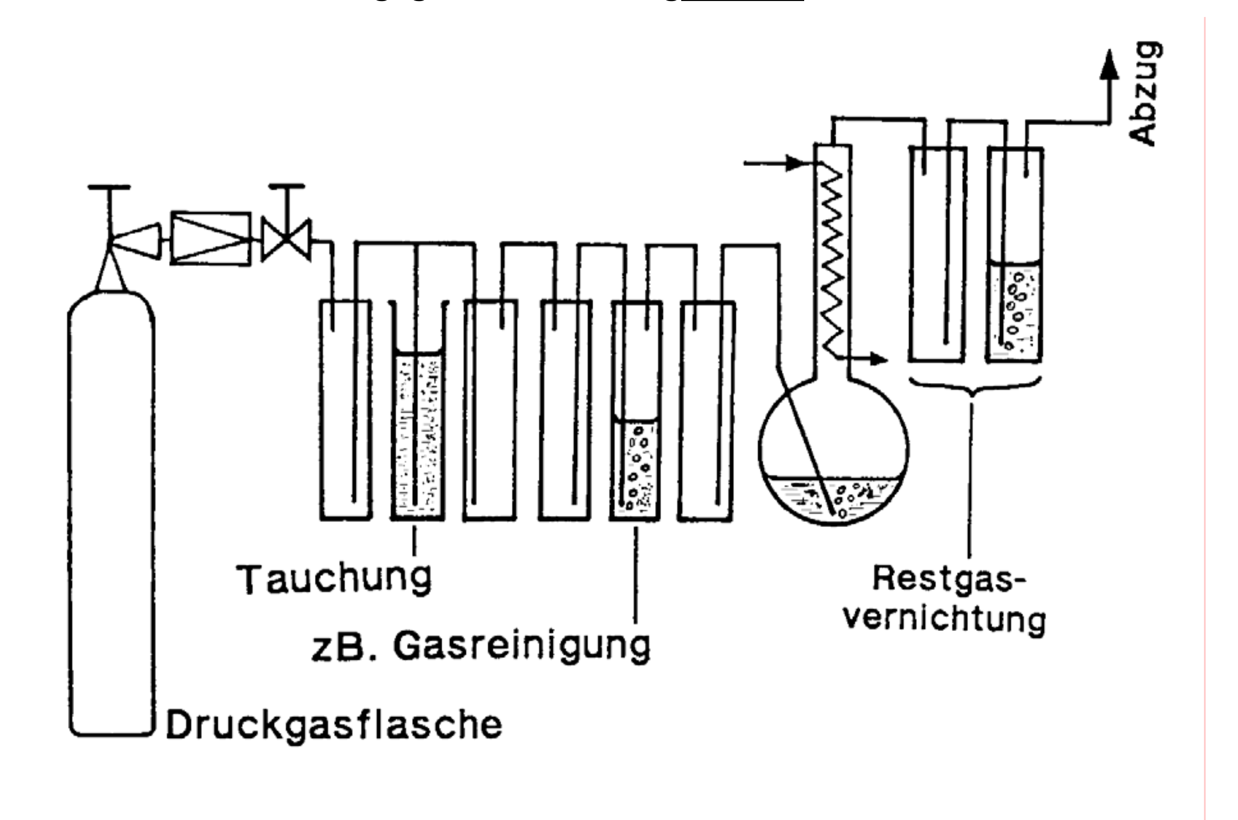


Abbildung: Schaltschema der Gaseinleitung

15 Gefahr durch Gasüberdruck im Scheidetrichter

Beim Ausschütteln von Lösungen im Schütteltrichter (Scheidetrichter) kam es wiederholt zu Augenverletzungen (fehlende Schutzbrille!) und zu Verätzungen, weil der sich aufbauende Druck im Inneren des Scheidetrichters unterschätzt wird.

Dieser Überdruck kann zwei Ursachen haben:

1.
Chemische Reaktion: Schütteln einer sauren oder säurebildenden Verbindung zB mit einer (Hydrogen)Carbonat-haltigen Lösung. **Der durch das gebildete Gas** (zB CO_2) **entstehende Überdruck kann den Scheidetrichter zerreißen oder seinen Inhalt durch einen herausgedrückten Schliff meterweit verspritzen.**

2.
Flüssigkeiten mit hohem Dampfdruck, zB Diethylether, Petrolether etc, können – allenfalls unterstützt durch eine *Erwärmung* beim Mischen infolge von Enthalpieeffekten – einen beträchtlichen Innendruck mit ähnlichen Folgen aufbauen.

Konsequenzen für die Arbeit:

- Vor dem Ausschütteln die Möglichkeit gasbildender Reaktionen und des Druckaufbaus durch Verdampfung überlegen.
- Gas- und Dampfentwicklung nach dem ersten Mischen im offenen Scheidetrichter abwarten. *Achtung:* Beim intensiven Durchmischen (Schütteln) kann eine Reaktion neuerlich in Gang kommen.
- Beim Schütteln vor allem am Beginn häufig entlüften.
- Niemals das Ablassrohr des Scheidetrichters gegen sich selbst oder gegen andere Personen richten.

Weitere Sicherheitshinweise:

- Versehen Sie zum Schutz des Scheidetrichters vor Bruch den Stativring erforderlichenfalls mit der Länge nach aufgeschnittenen Gasschlauchstücken.
- Scheidetrichter bergen stets die Gefahr, dass der Ablasshahn nicht dicht ist. Stellen Sie daher ein Auffanggefäß (zB Erlenmeyerkolben) unter den Scheidetrichter, bevor Sie eine Flüssigkeit in den Scheidtrichter füllen. Das Auslaufrohr des Scheidetrichters ragt dabei etwa 2 cm in das Auffanggefäß. Das Auffanggefäß soll die Maximalmenge an Flüssigkeit im Scheidetrichter aufnehmen können.
- Welche Phase ist nach dem Schütteln was ?
  Verlassen Sie sich nicht auf Tabellen, Literaturangaben oder Berechnungen. Sogar beim mehrmaligen Ausschütteln mit dem gleichen Lösungsmittel kann sich die Position der Phasen umkehren, weil extrahierte Stoffe die Dichte entsprechend ändern.
  Ein nützlicher Test: Drücken Sie mit einer Pasteurpipette mit Sauger etwas Wasser in beide Phasen und beobachten Sie, mit welcher Phase der austretende Wassertropfen sich nicht mischt.

16 Erhitzen im Labor, Heizvorrichtungen

16.0 Temperaturgrenzwerte für das Berühren heißer Oberflächen

Der Kontakt der menschlichen Haut mit heißen Gegenständen verursacht bekanntlich Verbrennungen verschiedener Schweregrade. Wie heiß eine Oberfläche sein darf, damit ihre (kleinflächige) Berührung mit der Haut durch einen gesunden Erwachsenen gerade noch keine Verbrennung auslöst, ist ua für die Konstruktion von Geräten und Industrie-ausrüstung bedeutsam. Die entsprechenden Temperaturgrenzwerte (Verbrennung-schwellen) wurden daher in einer Europäischen Norm zusammengestellt (ÖNORM EN 563: Sicherheit von Maschinen – Temperaturen berührbarer Oberflächen – Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen; *Safety of machinery – Temperatures of touchable surfaces – Ergonomics data to establish temperature limit values;* Ausgabe 1.1.1995).

Diese Temperaturgrenzwerte hängen vor allem von der Berührungsdauer sowie vom Material der Oberfläche und von seiner Struktur (glatt, rauh) ab. Der Einfluss des Materials der Oberfläche ist von der thermischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und seiner Dichte bestimmt (das Produkt dieser drei Größen wird als *„Wärmeträgheit"* bezeichnet). Ist die Wärmeträgheit hoch (zB Aluminium), kann eine Berührung in der Dauer von 1 Sekunde schon bei 65 °C Oberflächentemperatur eine Verbrennung bewirken. Bei niedriger Wärmeträgheit des Materials (zB Holz) geschieht dies erst bei 115 °C.

Für das heiße Becherglas, mit dem – wenn man es fallen lässt – das Ergebnis wochenlanger Mühsal vernichtet wäre, wird man beispielsweise eine Kontaktdauer von etwa 10 Sekunden anzunehmen haben.

In der Tabelle sind zur Veranschaulichung einige Temperaturgrenzwerte für den Schutz vor Verbrennung – nicht vor Schmerz! – angegeben; wegen der physiologischen Variabilität (individuellen Unterschiedlichkeit) sind sie nur als Richtwerte anzusehen.

Temperaturgrenzwerte für den Schutz vor Verbrennung					
Material	Kontaktdauer				
	0,5 Sek	1 Sek	5 Sek	10 Sek	1 Min
Metall, blank; Heißwasser	67 °C	65 °C	58 °C	55 °C	51 °C
Metall mit 0,1 mm Lacküberzug	89 °C	83 °C	62 °C	55 °C	51 °C
Metall mit 0,16 mm Emaille oder mit 0,06 mm Pulverbe-schichtung	73 °C	70 °C	60 °C	56 °C	51 °C
Glas, Keramik *)	84 °C	80 °C	69 °C	66 °C	56 °C
Kunststoff, glatt	91 °C	86 °C	73 °C	71 °C	60 °C
Hartholz **)	128 °C	115 °C	91 °C	89 °C	60 °C

*) Für Glas (alle Sorten) können etwas höhere Temperaturgrenzwerte angenommen werden, als in dieser Zeile angegeben sind.

**) Für weiche Hölzer gelten etwas höhere Temperaturgrenzwerte (wie dies auch im Rahmen eines Saunabesuches beobachtet werden kann).

16.1 Übersicht: Direkte und indirekte Beheizung

Gefäße können *direkt* oder *indirekt* beheizt werden.

Direkte Heizung erfolgt mit der Brennerflamme oder elektrisch. Sie kann zu örtlichen Überhitzungen und Siedeverzügen führen. Durch ungleichmäßige Hitzeverteilung können Spannungen im Glas entstehen, als Folge kann der Kolben reißen; wenn sich im Gefäß ein Feststoff (zB Bodenkörper) abgesetzt hat, ist diese Gefahr besonders groß.

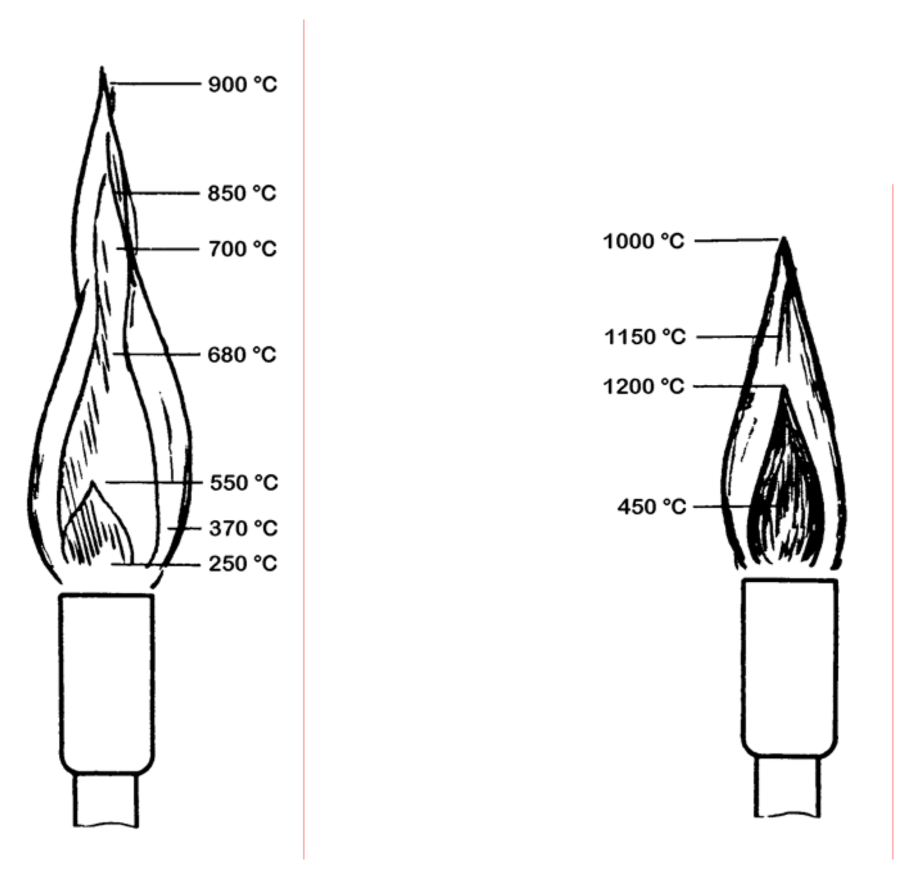
Indirektes Beheizen erfolgt mit einem wärmeübertragenden Medium (**Heizbad**) und ist daher in der Regel vorzuziehen.

Praktisch alle Heizvorrichtungen können als **Zündquellen** wirken (vgl Abschnitt 20).

16.2 Direkte Beheizung

16.2.1 Gasbrenner

Die nichtleuchtende Erdgasflamme erreicht an der Spitze des inneren Kegels ~1200 °C, an der Flammenspitze ~1000 °C. Die Abbildung zeigt die mit Erdgas erreichten Temperaturen.



Leuchtende Flamme (nichtrauschend) Rauschende Flamme (**nichtleuchtend**)

Brenner für Erdgas (Methan) sind ohne Anpassung nicht für andere Brenngase (Propan, Butan) geeignet; zumeist ist eine andere Düse erforderlich. Herstellerangaben beachten!

- **Lange Haare hochbinden !**
- **Weghängende Teile der Arbeitskleidung** (Manschetten, weite Ärmel) fixieren oder entfernen.
- Der Brenner soll etwa 30 cm von der Tischkante bzw der Abzugsvorderkante entfernt aufgestellt sein, um eine Gefährdung zu vermeiden.

Vor dem Anzünden:

Überprüfen Sie, ob am Tisch oder in naher Umgebung mit hoch- oder leichtentzündlichen Stoffen gearbeitet wird (Dämpfe von Ether, Schwefelkohlenstoff, Petrolether [= KW-Fraktion mit Siedebereich 50 ··· 75 °C], usw). Die Brennerflamme ist eine hochwirksame Zündquelle für brennbare Dampf-Luft-Gemische.

Apparaturen, die hoch oder leicht entzündliche oder thermisch instabile Substanzen enthalten, dürfen daher nie mit einem Brenner erhitzt werden. Ebensowenig dürfen derartige Substanzen im Becherglas oder Erlenmeyerkolben mit dem Brenner erhitzt werden (zB beim Umkristallisieren !).

Drehen Sie den Brenner ab, wenn Sie ihn nicht benötigen:

- Die Gasflamme ist bei hellem Licht meist schlecht zu sehen.
- Die Flamme stellt eine hochwirksame Zündquelle dar.
- Die unvollständige Verbrennung va in der leuchtenden Flamme erzeugt auch toxische Verbrennungsgase (Formaldehyd...); die heiße Flamme erzeugt auch nitrose Gase.

Die Gaszufuhr zum Brenner darf **nicht am Brenner abgesperrt werden,** damit der Gasdruck nicht am Gummischlauch bleibt.
Das Gas muss immer **mit dem Ventil** am Labortisch abgesperrt werden.

Die heute üblichen **Drahtnetze** zur Hitzeverteilung sind mit einer Mineralfasereinlage versehen.

Asbestdrahtnetze dürfen wegen der krebserzeugenden Wirkung von eingeatmeten Asbestfasern schon seit vielen Jahren nicht mehr verwendet werden. Das gewährleistet aber nicht, dass sie schon lückenlos ausgetauscht sind. Die Zuständigen (zB LaborantIn) fragen!

Die eventuelle Gefahr des Freiwerdens von **Asbest** ist insbesondere bei alten Laboröfen (Muffelöfen, Hitzschränken etc) und anderen alten hitzebeständigen Dichtungen zu beachten.

Offene Flammen vermeiden:

In modernen Labors wird der Brenner zumeist nur mehr zum Rundschmelzen von Glasstäben etc sowie (als Sauerstoffbrenner) zum Ampullenverschließen verwendet. Seine Verwendung erfolgt möglichst unter dem Abzug.

16.2.2 Elektrische Heizplatte

Eine elektrische Heizplatte (Kochplatte, Heizfläche des Magnetrührers) ist der Beheizung durch eine Flamme vorzuziehen. Dabei wird der Inhalt eines Erlenmeyerkolbens oder Becherglases auf der Heizplatte erwärmt. Sehr häufig dient die Heizplatte zum Erhitzen

eines aufgesetzten Heizbades (Abschnitt 16.3) und somit zur indirekten Beheizung.

Im Normalbetrieb erreicht eine Heizplatte eine Oberflächentemperatur von etwa 500 ··· 600 °C. Daher können entzündbare Dampf-Luft-Gemische an ihr gezündet werden (siehe Abschnitt 20.2). Dampf-Luft-Gemische mit besonders niedriger Zündtemperatur sind zB: Diethylether (170 °C), Acetaldehyd (140 °C), Schwefelkohlenstoff (95 °C), Petrolether (280 °C).

Während ein Heizbad unter anderem den Vorteil des milden Wärmeüberganges auf das eingetauchte Reaktionsgefäß hat (und daher eine nur geringe Temperaturdifferenz erforderlich ist), hat sich als Faustregel bewährt, die Heizplatte (Magnetrührer) unter dem Heizbad etwa auf den doppelten Temperaturwert [°C] einzustellen, als der Solltemperatur des Bades entspricht.

In der Heizplatte befindet sich der Thermostatschalter und eventuell zusätzlich ein Hauptschalter. Ein brennbares Dampf-Luft-Gemisch kann in das Gehäuse eindringen und auch durch den Schaltfunken gezündet werden.

16.2.3 Elektrische Heizhaube

Eine elektrische Heizhaube („Heizpilz") weist eine in der Regel halbkugelförmige Mulde auf, in die dann ein genau passender Rundkolben mit der zu erhitzenden Flüssigkeit eingesetzt wird. Dem Vorteil der Heizhaube – der Kolben ist anders als beim Herausnehmen aus dem Heizbad außen trocken und muss nicht vom Heizbadöl gereinigt werden – stehen erhebliche **Nachteile** gegenüber:

Die Temperatur in der Heizhaube ist kaum steuerbar. Die in der Heizhaube herrschenden lokalen Temperaturen hängen nur von der Güte der Wärmeableitung in den Kolben ab. Diese unterliegt in großem Maße der Zufälligkeit, denn kein Heizhauben-Innengeflecht kann die Kolbenaußenfläche an allen Stellen gleich fest und gleich intensiv berühren.

Selbst wenn dies gewährleistet werden könnte, bleibt das **Problem des unterschiedlichen Flüssigkeitsniveaus im Kolben**: Die Kolbenwand wird nur dort gekühlt, wo sie an ihrer Innenseite mit der Flüssigkeit in Kontakt steht. Da der Kolben immer satt in die Heizhaube eingesetzt sein muss, versuchen die Hersteller je nach Type und Größe der Heizhaube dieses Problem mit bis zu vier übereinander angeordneten Heizzonen zu verringern.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Wärmeableitung von der Kolbenwand durch **Niederschläge** im Kolben oder durch sich bei der Reaktion bildende, im Kolben klebende **zähe Massen** stark verringert wird. In diesem Fall bringt auch das Rühren des Kolbeninhalts kaum eine Verbesserung.

Heizhauben verursachen daher leicht thermische Spannungen im Glas des beheizten Kolbens, die zu dessen Bruch führen können. Ist die Wärmeableitung schlecht, kann man sogar das Glas des Kolbens lokal zum Schmelzen bringen.

Flüssigkeits-Heizbäder (Abschnitt 16.3) vermeiden diese Nachteile und sind zu bevorzugen.

Bei evakuierten Apparaturen ist das Risiko eines Kolbenbruchs wegen der zusätzlichen mechanischen Belastung noch wesentlich erhöht.
→ **Evakuierte Gefäße sollen nicht mit einer Heizhaube erhitzt werden.**

Weitere Eigenschaften von Heizhauben und Sicherheitshinweise für deren Verwendung:

Die Heizmulde besteht üblicherweise aus einem mehr oder minder schmiegsamen Geflecht aus Glasseide, in das der elektrische Heizleiter (230 V), ein Widerstandsdraht aus einer Cr-Ni-Legierung, eingeflochten ist.

Um eine etwas gleichmäßigere Temperaturverteilung zu erreichen, ist der Widerstandsdraht gewendelt und oft noch durch einen etwas dickeren Metallmantel umgeben. Darüber liegt die Glasseide-Isolation, die nicht flüssigkeitsdicht ist. **Aggressive Flüssigkeiten oder Gase können daher schon in geringen Mengen den Heizleiter angreifen oder zerstören.** Die Berührung mit spitzen oder scharfen Gegenständen ist ebenso verboten wie die mechanische Verformung der Heizhaube.

Heizhauben mit Heizgeflecht sind **nicht feuchtigkeitsgeschützt.** Dringt Flüssigkeit in den Innenmantel ein, kann dies einen Stromaustritt aus dem Glasseide-isolierten Heizleiter und **Elektrisierungsgefahr** bewirken. In Heizhauben aus Glasgarn dürfen daher Metallgefäße nicht eingesetzt werden. Das Heizgeflecht soll aus Sicherheitsgründen im eingeschalteten Zustand nicht berührt werden. In den Außenmantel moderner Heizhauben ist eine blanke Nickellitze als Schutzleiter (siehe Abschnitt 23.3.1) eingehäkelt.

Die Apparatur muss so aufgebaut werden, dass die Heizhaube **bei Gefahr sofort vom Netz getrennt** (abgesteckt, und nicht nur ausgeschaltet!) werden kann. Falls Flüssigkeit in die Heizhaube gelangt, muss diese sofort vom Netz getrennt werden.

Es gibt auch Heizhauben mit einer Heizmulde, die aus einer geschlossenen Oberfläche besteht und daher **flüssigkeitsdicht** ist. Diese sind weniger gebräuchlich (und teurer).

Heizhauben erzeugen an der Heizleitung (bzw Heizfläche) **Temperaturen** üblicherweise von 450 bis 500 °C. Spezielle Typen erreichen bis zu 900 °C. Dabei handelt es sich um Sollwerte, die an Stellen, an denen die Wärmeableitung verringert ist (siehe oben), in gefährlicher Weise ansteigen können. Die höchstzulässige Nenn-Betriebstemperatur ist am Typenschild angegeben; ihre Überschreitung kann die Heizhaube zerstören.
Es versteht sich von selbst, dass eine Heizhaube nicht ohne eingesetzten Kolben mit Flüssigkeitsinhalt eingeschaltet werden darf.

Brennbare Kolbeninhalte können **gezündet** werden, wenn sie in die Heizhaube gelangen (zB durch Kolbensprung).

Wird eine Heizhaube eingesetzt, ist – so weit es eben möglich ist – **für einen guten Wärmeübergang zum Kolbeninhalt zu sorgen.** Der Kolben muss genau in die Heizmulde passen, und er und darf innen nicht verkrustet sein (Anlagerungen etc). Die Wärmeverteilung soll durch Rühren unterstützt werden, zB mittels Magnetrührers durch die Heizhaube hindurch.

Die Heizleistung ist bei abnehmendem Füllstand zurückzunehmen. Entsprechend der geplanten Arbeit ist die Heizhaube **entsprechend der Steuerungsmöglichkeiten der Heizleistung auszuwählen.** Manche Heizhauben haben ein bis vier übereinander angeordnete Heizzonen, die je nach eingebauter Schaltung gestuft abgeschaltet bzw zusammen auf halbe Leistung gestellt werden können. Über die Schaltfunktionen muss man sich vorher genau informieren! Daher sollen die Gebrauchsanweisungen leicht zugänglich (zB im Geräteschrank ausgehängt) sein.

Zusätzlich sollte ein elektronischer **Leistungsregler** verwendet werden.

Zu empfehlen ist die zusätzliche Steuerung der Heizhaube durch einen **Temperaturregler**, der mit einem **Temperaturfühler** an der Heizfläche (Sicherheits-Temperaturbegrenzer) und ev einem Temperaturfühler in der Flüssigkeit (Regelfühler) verbunden ist. Diese Komponenten müssen aufeinander abgestimmt sein. Damit ist eine Überhitzung zu verhindern, und der Vorgang muss nicht ständig beaufsichtigt werden. Beim Einsatz von Heizhauben gehört diese Steuerung heute zur Laborsicherheitstechnik.

Eine Heizhaube darf niemals als Ersatz für einen Korkring (Kolbenring) zum Abstellen eines Kolbens verwendet werden. Dies hat bereits zu Bränden geführt, weil die als kalt vermutete Heizhaube in Wahrheit heiß – nämlich irrtümlich eingeschaltet – war (Verwechslung der Schalter).

16.3 Heizbäder

Heizbäder dienen dem indirekten Beheizen. Es kommt ein wärmeübertragendes Medium zum Einsatz. Als Heizbadmedien kommen in Frage:

- Luft (selten angewandt)
- Wasser
- Heizbadflüssigkeiten:
  - wassermischbare
  - nicht wassermischbare
- Metallschmelze
- Sand

Flüssigkeitsbäder ermöglichen – im Gegensatz zur direkten Beheizung und zu Sandbädern – eine gleichmäßige Wärmeübertragung. Dies ist ihr großer Vorteil.

Die Differenz zwischen der Temperatur des Bades und der gewünschten Temperatur im Kolben kann daher relativ gering gehalten werden.

Die Badflüssigkeit kann exakt auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden.

Die Eintauchtiefe des beheizten Kolbens kann leicht dem Flüssigkeitsstand im Kolbeninneren angepasst werden und die Wärmeübertragung ist im eintauchenden Bereich jedenfalls vollflächig. Auch dies stellt einen großen Vorteil gegenüber der Heizhaube dar.

> Grundregel für alle Flüssigkeitsbäder:
>
> **Der Kolbeninhalt darf mit der Badflüssigkeit nicht in gefährlicher Weise reagieren.** Man muss es immer für möglich halten, dass das ins Bad eintauchende Glasgefäß bricht.

16.3.1 Wasserbad

Der optimale Arbeitsbereich des Wasserbades liegt bei etwa 60 °C.

Als Schutz vor dem **Trockenlaufen** ist eine Wasserzuflusskontrolle mit Flussanzeiger erforderlich (Sichtkontrolle oder elektronische Überwachung). Beim Trockenlaufen liegen

die elektrischen Heizstäbe frei und können eine sehr hohe Temperatur annehmen. Sie können eine gefährliche, schwer erkennbare **Zündquelle** für brennbare Dämpfe (Abschnitt 20.2) bilden.

Auf Wasserbädern dürfen Gefäße mit Stoffen, die mit Wasser gefährlich reagieren, nicht erwärmt werden.
Siehe die R-Sätze **R 14** „Reagiert heftig mit Wasser" und **R 15** „Reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase".

Solche Stoffe sind zum Beispiel:

- Alkalimetalle und Alkalialkoholate (RONa)
- Hydride, zB Lithiumaluminiumhydrid
  Vor allem Alkalimetalle und Hydride werden oft zum vollständigen Trocknen (Absolutieren) von vorgetrockneten Lösungsmitteln eingesetzt.
- sehr reaktive organische Säurechloride und Säureanhydride
- metallorganische Verbindungen (MeR$_X$, zB LiR, AlR_3; RMgX)
- Nichtmetallhalogenide (BCl_3, BBr_3, BF_3, PCl_3, PBr_3, PCl_5, SCl_2, $SiCl_4$, usw)
- anorganische Säurehalogenide ($POCl_3$, $SOCl_2$, SO_2Cl_2, ...)
- wasserfreie Metallhalogenide ($AlCl_3$, $TiCl_4$, $ZrCl_4$, $SnCl_4$, ...)
- P_2O_5, Phosphide, Carbide ...
- Alkalimetall-amide

16.3.2 Bäder mit organischen Heizbadflüssigkeiten

Die Tabelle gibt einen Überblick über typische Kennwerte für einige ungebrauchte organische Heizbadflüssigkeiten im Anlieferungszustand.

Typische Einsatzbereiche und Kennwerte von neuen, noch nicht verwendeten organischen Heizbadmedien (Markenprodukte), Auswahl			
Heizbadmedium	verwendbar bis ...	Flammpunkt	Preis pro Liter *)
Mineralöl	etwa 250 °C	etwa 310 °C	etwa 37 Euro
Paraffin	etwa 150 °C	etwa 195 ··· 230 °C	etwa 30 Euro
Siliconöl	etwa 250 °C	etwa 315 °C	etwa 304 Euro
Wassermischbare Heizbadflüssigkeit	etwa 170 °C	etwa 280 °C	etwa 72 Euro
Polyethylenglykol 1500 Schmelzbereich ~44 ··· 48 °C		etwa 255 °C	etwa 25 Euro
Glycerin		etwa 180 °C	etwa 70 Euro

*) o. MWSt basierend auf Preisen (2008) der Fa. Merck. Im Handel sind auch billigere Produkte zu finden.

Eine optimale organische Heizbadflüssigkeit hat folgende Eigenschaften:

- toxikologische Unbedenklichkeit
- hohe Siedetemperatur, sehr niedriger Dampfdruck
- hoher Flammpunkt (Abschnitt 18.1)
- günstige Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit
- gute Temperatur- und Oxidationsbeständigkeit
- Mischbarkeit mit Wasser
- niedrige Viskosität auch bei Raumtemperatur, niedrige Erstarrungstemperatur (Stockpunkt)

Meistens – vor allem bei nicht allzu teuren Heizbadmedien – ist man auf Kompromisse angewiesen.

A.) ***Bäder mit wassermischbaren Heizbadmedien***

Badflüssigkeit:
zB **Polyethylenglykol** (Flammpunkt nach Polymerisationsgrad 220 ··· 250 °C, mittlere Polymerisationsgrade sind bei Raumtemperatur fest und schmelzen bei 40 ··· 50 °C),
Glycerin (Flammpunkt ~160 °C)

Bei wassermischbaren Heizbadmedien ist die Gefahr des Verspritzens gering, wenn Wasser ins Bad tropft.

Weiterer Vorteil: der Kolben ist außen leicht zu reinigen (Abspülen mit Wasser).

Wassermischbare Heizbadflüssigkeiten sind daher zu bevorzugen !

Wassermischbare und nicht wassermischbare Wärmeträger soll man nicht miteinander mischen.

In Bädern mit wassermischbarer Badflüssigkeit dürfen Stoffe, die stark mit Wasser reagieren (Beispiele in Abschnitt 16.3.1) nicht erwärmt werden (Polyethylenglykol ist hygroskopisch):

Glycerin und Polyethylenglykol sind gegenüber vielen Reaktionsmedien bei der Betriebstemperatur des Bades keineswegs chemisch inert, sondern reagieren heftig oder gefährlich. So darf Glycerin niemals als Badflüssigkeit für Nitrierungen eingesetzt werden (warum ?!). Glycerin und Polyethylenglykol sind (besonders bei höheren Temperaturen) nicht für die Beheizung von Trocknungsapparaturen für organische Lösungsmittel geeignet, wenn in diesen als Trocknungsmittel Alkalimetalle oder Metallhydride eingesetzt werden.

B.) ***Bäder mit nicht wassermischbaren Wärmeträgern (klassisches Ölbad)***

Badflüssigkeit:
Mineralöl, Paraffinöl (= Paraffine), **Silikonöl** (= Methylphenylpolysiloxane)

Die Hauptgefahr: Ein Wassertropfen fällt in das heiße Bad

→ heftiges, explosionsartiges Verspritzen des Öls → schwere Brandwunden möglich

→ das Heizbad kann überschäumen

→ Paraffintropfen können sich an der Heizplatte entzünden!

Badflüssigkeiten müssen nach einer Verunreinigung mit Wasser erneuert oder ausreichend ausgeheizt (siehe unten) werden.

C.) ***Maßnahmen bei Flüssigkeitsbädern nach A.) und B.)***

Sicherheitsmaßnahmen gegen das Eintropfen von Wasser:

Kondenswasser am Kühler mit Filterpapier-Manschette abfangen. Wasserschläuche gegen Abrutschen sichern! (Abschnitt 6.4)

Thermische Zersetzung und Brandgefahr

***Alle organischen Heizbadflüssigkeiten* sind bei ausreichend hoher Temperatur brennbar** ! Der Flammpunkt (siehe Abschnitt 18.1) liegt bei gebräuchlichen Badflüssigkeiten bei ~200 ··· 300 °C (Datenblatt beachten). Derartige Brände dürfen keinesfalls mit Wasser gelöscht werden. Das brennende Öl würde verspritzen und der Brand könnte sich auf die Umgebung ausbreiten.

Einen solchen Brand versucht man nach sofortigem Abschalten der Heizquelle durch Abdecken zu ersticken oder mit einem CO_2-Löscher abzulöschen. Man muss weitere Löscher für den Fall einer Rückzündung, die zB durch das heiße Gefäß des Bades verursacht werden kann, bereithalten.

Die **Temperaturgrenze,** dh die **Maximaltemperatur der Badflüssigkeit**, wird vom Hersteller meist 50 °C unter dem Flammpunkt angegeben (Mindestunterschreitung: 20 °C). Für die im Labor vorhandenen Bäder muss die Temperaturgrenze ersichtlich sein (anschreiben, aushängen). Bei der Benutzung des Heizbades muss die Einhaltung der Temperaturgrenze laufend kontrolliert werden. Bei ihrer Überschreitung besteht Entzündungsgefahr.

***Alle Badflüssigkeiten* unterliegen der thermischen Zersetzung** (Cracken) → Bäder rauchen und stinken → allenfalls gesundheitsschädliche Stoffe werden frei. Verwendung daher im Abzug! Die Zersetzung wird durch hineingetropfte Verunreinigungen verstärkt.

Die Verwendungsdauer von Silikonöl bei 250 °C ist beispielsweise auch bei ordnungsgemäßem Gebrauch aufgrund seiner eingeschränkten Temperaturstabilität auf etwa 3000 Stunden begrenzt.

Durch die thermische Zersetzung kann der Flammpunkt sinken! Badmedien sollen daher nicht zu lange verwendet und nicht verunreinigt werden. Ältere Badflüssigkeiten sowie solche, die zur Reinigung ausgeheizt wurden, sollen *nicht mehr* bis zur ursprünglichen Nenn-Temperaturgrenze erhitzt werden.

Während bei Polyethylenglykol und Glycerin bei höheren Temperaturen meist nur enthaltenes Wasser abdampfen, besteht bei dampfendem Paraffin hingegen akute Zündgefahr. Zumindest hier sind die Dämpfe ein auffälliges Warnsignal.

Aus Gründen das Brandschutzes sollen auch neue Badflüssigkeiten nicht mit dem Brenner erhitzt werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass relativ viele Laborbrände durch **überhitzte Heizbäder** entstehen. Ist geplant, dass ein Heizbad zeitweise unbeaufsichtigt laufen soll (auch untertags!), muss zusätzlich zu dem ins Heizbad eintauchende Thermometer für die automatische Temperaturregelung ein zusätzliches Thermometer mit Schaltfunktion angebracht sein, das bei (störfallbedingtem) Erreichen einer eingestellten höheren Temperatur die Beheizung dauerhaft abschaltet.

Hinweise zum Aufbau

Die Badflüssigkeit dehnt sich beim Erhitzen relativ stark aus. Dies ist beim Anheben des Bades unter der Apparatur zu berücksichtigen.

Der Behälter des Heizbades muss so bemessen sein, dass er bei Bruch den gesamten Kolbeninhalt aufnehmen kann.
Wie schon oben betont wurde, muss die Badflüssigkeit so gewählt werden, dass diese in der Hitze mit dem Apparaturinhalt nicht auf sehr gefährliche Weise (zB explosionsartig) reagiert. Dennoch wird bei Bruch der Apparatur oft mit der sofortigen Entzündung der Reaktionsmischung zu rechnen sein. Der Gefahr der Brandausbreitung kann durch die Anbringung einer Brandschutzwanne (Abschnitt 18.7) unter dem Bad vorgebeugt werden.

Getauchte Kolben mit Füllung erhalten durch ihre Entleerung bei der Destillation einen hydrostatischen Auftrieb. Sehr große Kolben (ab etwa 6 ℓ), die nur durch Kolbenklammer ins Bad gedrückt werden, können durch die Auftriebskraft sogar brechen.

Bei korrektem Betrieb des Heizbades sollte jedoch das Bad entsprechend dem abnehmenden Füllstand im Kolben (Destillation) abgesenkt werden.

16.3.3 Metallbäder

Metallbäder können für manche Anwendungen eine nützliche Alternative darstellen.

Besonders gefährlich ist bei Metallbädern das Verspritzen von flüssigem Metall, wenn Wasser in das Bad gelangt.

Die meist verwendete Legierung, die WOODsche Legierung, enthält ~50% Bi, ~25% Pb, ~12,5% Cd und ~12,5% Sn, die bei höherer Temperatur eine beträchtliche Flüchtigkeit aufweisen. – Die Metalldämpfe sind toxisch ! Metallbäder müssen daher stets im Abzug betrieben werden.

Gefäße und Thermometer müssen vor dem Erstarren des Metallbades aus diesem heraus genommen werden.

16.3.4 Sandbäder

Sandbäder sind thermisch sehr träge und daher hinsichtlich der Temperatur schwierig zu regeln. Lokale Überhitzungen sind zu erwarten und erhöhen das Risiko des Zerspringens von Glasgefäßen.

Scharfkantiger Sand ritzt Mikrofurchen in Glasgefäße und fördert die Bruchgefahr der Gefäße vor allem bei Hitze- und Druckbeanspruchung (Vakuum).

Für Sandbäder soll daher nur Fluss- bzw Seesand verwendet werden, der vorher geglüht wurde.

Mit chemischen Stoffen verunreinigter Sand ist unverzüglich zu wechseln. Anderenfalls können gesundheitsschädigende Pyrolyseprodukte in die Raumluft gelangen. Man denke zB an die mögliche Freisetzung von Dioxinen (Abschnitt 10.3) aus verschiedenen organischen Stoffen in der Gegenwart halogenhaltiger Verbindungen.

16.4 Mikrowellenöfen

In jüngerer Zeit werden Mikrowellenöfen häufig auch in Laboratorien eingesetzt. Bei unsachgemäßer Verwendung können von Mikrowellenöfen erhebliche Gefahren ausgehen und Unfälle bewirken.

Mikrowellengeräte werden zB zum bequemen Erwärmen von Lösungen und Reaktionsmischungen, für Aufschlüsse oder zur Herstellen von Gelen in der Biochemie benutzt.

Häufig wird bei der bequemen Art der Erhitzung die oft wenig auffallende **Gefahr eines Siedeverzuges** missachtet. Näheres zu Siedeverzügen siehe Abschnitt 17.

Ein Siedeverzug kann nicht nur zu schweren Verbrühungen führen, sondern auch giftige oder ätzende Flüssigkeiten im Labor verspritzen. Es sind sogar Fälle berichtet, in denen die schlagartige Verdampfung die Tür des Ofens herausgeschleudert hat.

Empfehlungen für die Erhitzung vor allem von viskosen Flüssigkeiten (Gele, Nährmedien) im Mikrowellengerät:

- Heizleistung und Heizdauer sorgfältig einstellen (Erfahrungswerte sammeln und berücksichtigen !),
- Labor-Mikrowellenofen mit kontinuierlicher Leistungsregelung (anstelle eines Haushaltsgerätes) verwenden,
- Weithals-Erlenmeyerkolben verwenden, diesen nur etwa zu einem Drittel mit der Flüssigkeit befüllen und
  den Erhitzungsvorgang unterbrechen und die Flüssigkeit durch Schwenken des Kolbens durchmischen,
- allenfalls Siedehilfen (zB Siedesteinchen) verwenden.

Brennbare Dämpfe, wie sie beim Erwärmen brennbarer Flüssigkeiten freigesetzt werden können oder bei bestimmten Reaktionen entstehen (zB H_2), können im Ofenraum **gezündet** werden und eine heftige Raumexplosion (Abschnitt 19.4) im Ofen bewirken.

Die **Mikrowellenstrahlung** ist für den Menschen grundsätzlich gefährlich (siehe Abschnitt 24.1), weshalb Mikrowellengeräte sorgfältig als FARADAY-Käfig konstruiert sind. In Laboratorien angetroffene Geräte, bei denen das Abschirmgitter am Türglas entfernt wurde („damit man besser hinein sieht") oder die gar für den Betrieb bei geöffneter Tür manipuliert wurden, zeugen von gröbster Unkenntnis der Strahlenwirkung und setzen alle in der Nähe des Geräts tätigen Menschen einer möglichen schweren Gesundheitsschädigung aus, bis hin zur Erblindung.

Aus diesem Grund dürfen Öffnungen in die Gerätewandung zB zur Einführung von Geräten, Messleitungen udgl nur unter Anwendung des Spezialwissens über den möglichen Strahlungsaustritt, die Strahlungsverschleppung und deren Verhinderung geschnitten werden. Auch aus dem Gerät geführte Leitungen können eine Strahlungsgefahr darstellen: mit dem Geräteinneren verbundene metallische Leitungen können unbeabsichtigt als Abstrahlantennen wirken.

Die **Wechselwirkung der Mikrowellenstrahlung mit den in den Ofen eingebrachten Stoffen und Geräten** muss ebenfalls berücksichtigt (und erforderlichenfalls vorher erprobt) werden. Manche Metalle oder Legierung wirken als Antenne für die Strahlung und erhitzen sich so stark, dass sie Kunststoffbehälter durchschmelzen. Metallstücke von mehr als 1 mm Länge können heftige Funkenentladungen bewirken. Dies wurde zB auch bei $CuCl_2$-Lösung, Salpetersäure oder konz. Natronlauge beobachtet.

Auch alle zu erhitzenden Behälter (samt Schraubkappen, Dichtringen etc !) müssen auf ihre Eignung geprüft werden.

Weiter führend.: B. L. Foster, M. E. Cournoyer, The Use of Microwave Ovens with Flammable Liquids, Chem Health Safety, **July/August 2005**, 27–32.

16.5 Hitzeisolation

Zur Hitzeisolation darf **Asbest** wegen seiner krebserzeugenden Wirkung nicht mehr verwendet werden. Während neue Geräte asbestfrei sind, findet man in vor 1994 hergestellten Apparaten ev noch Hitzeisolationen oder Dichtungen usw aus Asbest.

Achtung: Keine Asbestfasern aufwirbeln, Staub nicht einatmen. Austausch der entsprechenden Teile oder (besser?) Entsorgung des Gerätes veranlassen.

16.6 Beheizung von Apparaturen

Glasgeräte dürfen nicht über die von der Glassorte abhängige **höchstzulässige Temperatur** hinaus erhitzt werden. Für Borosilikatglas (zB Duran®, Pyrex®) liegt die maximale kurzeitige Gebrauchstemperatur bei 500 °C, für Aluminiumsilikatglas (Supremax®) bei 700 °C. Nähere Informationen findet man in den Katalogen der Glasgerätehersteller.

Geräte aus dickem Glas (Saugflaschen, Exsikkatoren) dürfen grundsätzlich nicht erhitzt werden. Das Auswaschen zB von P_2O_5-Resten aus einem Exsikkator ist wegen der dabei entstehenden Hitzeentwicklung verboten. Näheres siehe in Abschnitt 6.6.

Niemals ein geschlossenes System erhitzen !

Diese „Selbstverständlichkeit“ führt zum Beispiel zu der Konsequenz, dass Trockenrohre vor und während ihrer Verwendung auf ihre Durchgängigkeit geprüft werden müssen.

Die Heizeinrichtung unter jeder beliebigen Apparatur muss sich ohne Umbau oder Anheben der Apparatur rasch und gefahrlos entfernen lassen, zB durch Absenken des Bades.
Optimal ist dies mit einer Laborhebebühne zu erreichen.

Jedes Heizbad muss außerdem **kippsicher** aufgestellt sein. Auch dafür haben sich Laborhebebühnen (mit darauf stehender Heizplatte) bewährt. Die Mechanik der Laborhebebühne verschleißt weniger rasch, wenn die belastete Bühne aus etwa mittlerer Höhe (und nicht aus dem gänzlich heruntergekurbelten Zustand) entsprechend angehoben wird. Ein Dreifuß ist wegen ungenügender Standsicherheit dafür nicht geeignet. Ein Stativring ist gleichfalls zu wenig stabil und nicht bedienungssicher.

Wenn in einer beheizten Apparatur brennbare Dämpfe entstehen können, muss diese mit einem **Kühler** für die Kondensation derselben versehen sein. Die Verbindung zwischen Gerät und Kühler muss dicht sein (gesicherte Schliffverbindung).

Wenn ein brennbarer Stoff destilliert wird, soll zur Sicherheit zusätzlich zur Kondensation des Dampfes im Kühler allenfalls unvollständig kondensierter Dampf nicht aus der Apparatur frei in den Abzug strömen, sondern abgeleitet werden. Dazu führt man einen Schlauch vom Vorstoß in die Luftansaugung des Abzuges.

Aus demselben Grund darf das Destillat *nicht offen* – dh ohne Schliffverbindung – aus dem Kühler in die Vorlage tropfen.

17 Hantieren mit heißen Flüssigkeiten – Siedeverzug

Ein **Siedeverzug** entsteht, wenn eine Flüssigkeit über ihren Siedepunkt erhitzt wird, ohne dass gleichmäßiges Sieden einsetzt.

Durch **Erschütterung** des Gefäßes, Rühren, Einbringen von **Feststoffen, Siedesteinchen, Aktivkohle oder Fremdkörpern** (Glasstab ...) kann der Siedeverzug unter explosionsartigem Auf- und Überschäumen aufgehoben werden. Dabei können Teile der Apparatur (Kühler, Aufsätze...), die nicht mit Schliffsicherung befestigt sind, weggeschleudert werden. Unter Umständen kann sogar das Gefäß zum Bersten gebracht werden.

Tritt das plötzliche Überschäumen bei einer **brennbaren Flüssigkeit** ein, können zudem große Mengen brennbaren Dampfes freigesetzt werden, und es kann sich eine gefährliche Wolke eines entzündbaren Dampf-Luft-Gemisches bilden.

Siedeverzüge können – wenn keine Gegenmaßnahmen gesetzt werden – selbstverständlich bei jeder Art des Erhitzens eintreten. Zu wenig beachtet wird diese Gefahr oft bei **Mikrowellenöfen** (Abschnitt 16.4) und bei der Dampfsterilisation.

Schwere Verbrühungen können im Zusammenhang mit **Autoklaven** und **Dampfsterilisatoren** vorkommen, Geräte die vor allem in mikrobiologischen / biochemischen Laboratorien verwendet werden: Der Betriebsdruck eines Autoklaven beträgt meist 2,05 bar. Bei diesem Druck siedet das Wasser bei 121 °C; dies gilt auch für wässriges Sterilisationsgut (zB Lösungen). Nach dem Autoklavieren wird der Druck wieder auf 1 bar abgesenkt. (Die Gefäße mit den zu autoklavierenden Flüssigkeiten dürfen selbstverständlich nicht fest verschlossen, sondern nur abgedeckt sein.)

Wenn vor der Entnahme des Sterilisationsgutes die Abkühlphase (von 121 °C auf < 100 °C) nicht abgewartet wird, kann das Wasser im Autoklaven oder im entnommenen Gefäß explosionsartig aufwallen und herausgeschleudert werden (Aufhebung des Siedeverzuges zB durch Erschütterung). Dabei sind viskose Flüssigkeiten (zB Nährmedien wie Agar und Gele für die Elektrophorese) besonders gefährlich, weil sie im Flüssigkeitsinneren nur langsam abkühlen.

Es ist daher davon abzuraten, viskose Medien in größerer Menge als unmittelbar benötigt und verarbeitbar herzustellen, da beim erforderlichen Wiedererhitzen des Vorrates ein Siedeverzug kaum zu vermeiden ist.

Als zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen sind ein Gesichtsschutzschirm (zusätzlich zur Schutzbrille) und locker sitzende Schutzhandschuhe mit langer Stulpe stets zu empfehlen, wenn ein Siederverzug nicht ausgeschlossen werden kann.

Abhilfe gegen Siedeverzüge:

Rühren (Magnetrührer, Glasrührer) und Siedesteinchen (für den Fall, dass der Rührer ausfällt).

Beim Rotationsverdampfer ist das Rotieren mit hoher Geschwindigkeit die beste Vorbeugung gegen Siedeverzüge.

Siedesteine *[boiling chips]* sind chemisch inerte Aluminosilikate; sie erleichtern durch ihre poröse Struktur die Bildung von Dampfbläschen und führen so zu einem ruhigen Sieden.

Siedesteine
- müssen vor dem Erhitzen in die kalte Flüssigkeit zugegeben werden,
- können nur einmal verwendet werden (sie saugen sich beim Abkühlen voll),
- können auch im **leichten** Vakuum verwendet werden.

Vor dem neuerlichen Erhitzen müssen neue Siedesteinchen zur ausreichend abgekühlten Lösung zugesetzt werden.

Von verschiedenen ExperimentatorInnen wurden oder werden empfohlen:

Siedestäbchen, das sind kleine einseitig offene Kombinationen von Glasstäben mit Rohransätzen;
das Hineinstellen eines frisch abgeschnittenen Glasstabes;
ein Glasstab mit einem angeschmolzenen Stück Glasfritte;
das Anschmelzen von Glasstaub an die Innenwand des Kolbens,
Siedestäbchen aus Holz.

Stets handelt es sich um das Ausnützen scharfer Kanten und oder kleinster Volumina.

Im **stärkeren Vakuum** benützt man zur Verhinderung von Siedeverzügen Siedekapillaren und/oder Magnetrührer.

18 Brandgefahren im Laboratorium

Siehe dazu Abschnitt 6 in SICHER ARBEITEN.

Der Überbegriff der **brandgefährlichen** Stoffe schließt sowohl die *brennbaren* wie auch die *brandfördernden* (dh oxidierenden) Stoffe mit ein. Auf die brandfördernden Stoffe geht Abschnitt 18.10 ein.

18.1 Brennbare Flüssigkeiten: Der Flammpunkt

Brennen kann grundsätzlich nur der Dampf. Für das Verständnis von Brandgefahren sowie für den Brandschutz ist daher die Beantwortung der folgenden Frage wichtig:

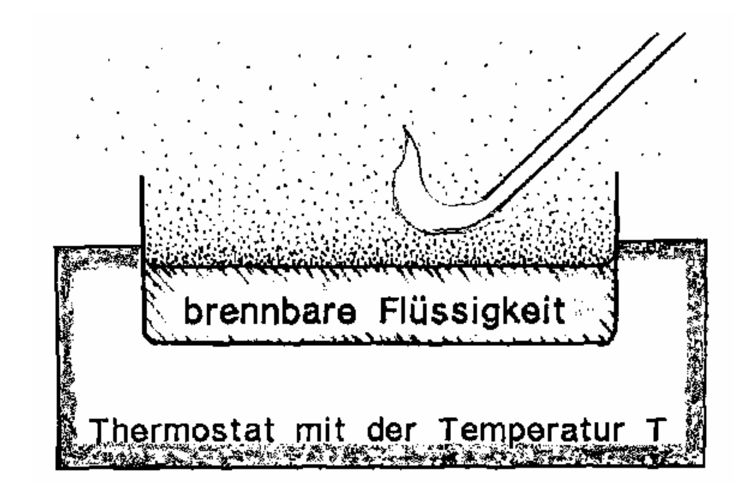
> *Unter welchen Umständen ist für die Entzündbarkeit ausreichend viel Dampf in der Luft ?*

Die Antwort auf diese Frage führt zur **wichtigsten sicherheitstechnischen Kennzahl brennbarer Flüssigkeiten, dem Flammpunkt** (engl. flash point).

Der Flammpunkt ist jene Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit, bei der sich (bei Normaldruck) **gerade soviel Dampf über der Flüssigkeit entwickelt, dass ein durch eine Zündquelle entzündbares Dampf-Luft-Gemisch entsteht.**

Im schematisch dargestellten Prüfgerät (Abbildung) dient ein kleines Flämmchen (dessen Beitrag zur Erwärmung möglichst gering sein soll) als Zündquelle.

Überlegen Sie:
Der Flammpunkt ist eine Temperatur !



Aus der Definition des Flammpunktes ergibt sich, dass man bei jeder Temperatur, die höher ist als die des Flammpunktes, mit einem entzündbaren Dampf-Luft-Gemisch in der unmittelbaren Nähe der Flüssigkeit rechnen muss.

Die Beispiele in der nachfolgenden Tabelle zeigen, dass bei *sehr vielen* Lösungsmitteln diese gefahrbringende Dampfentwicklung schon bei Raumtemperatur erfolgt. Das heißt: Viele brennbare Flüssigkeiten bilden schon bei *Temperaturen weit unter der Raumtemperatur* in einem solchen Ausmaß Dämpfe, dass diese entzündlich sind, also ein entzündbares Gas-Luft-Gemisch entstehen kann !

Der Flammpunkt beschreibt also mittels der Temperaturbedingung für die Freisetzung brennbarer Dämpfe das Auftreten einer Brandgefahr beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten bzw Mischungen. Er ist (neben den Gefahren bei Aerosolbildung oder durch

den Dochteffekt, Abschnitt 18.5) für die Laborarbeit von großer Bedeutung.

Einige Flammpunkte [°C]	
Petrolether	– 56
Diethylether	– 40
Schwefelkohlenstoff	– 30
Diisopropylether	– 23
Aceton	– 19
Cyclohexan	– 18
Ethylacetat	– 4
Ethanol	12
n-Butanol	29
Essigsäure	40
Heizbadöle	200···300

Siehe auch die Kennzahlen-Übersichtstabelle auf Seite 136 !

<u>Änderung des Flammpunktes durch Mischen</u>

Der Flammpunkt kann durch bereits geringes Zumischen einer niedrig siedenden Komponente <u>stark sinken</u>. Der Flammpunkt einer Mischung kann sogar tiefer liegen als die Flammpunkte der Komponenten.

Die Tabelle veranschaulicht, welch geringe Konzentrationen von Aceton in Wasser einen unerwartet tiefen Flammpunkt der Aceton-Wasser-Mischung bewirken. Vorsicht ist daher zB bei Lösungsmittel-Sammelbehältern geboten !

Aceton [$\%^m/m$] in Wasser	Flammpunkt [°C]
5 $\%^m/_m$ Aceton	33
10 $\%^m/_m$ Aceton	11
20 $\%^m/_m$ Aceton	1
30 $\%^m/_m$ Aceton	– 5
50 $\%^m/_m$ Aceton	– 11
70 $\%^m/_m$ Aceton	– 14
100 % Aceton	**– 20**

Beispiel:
Flammpunkte verschiedener
Aceton-Wasser-Mischungen

Das Zumischen von nur 3 % Benzin zu Heizöl senkt den Flammpunkt von ~75 °C auf 19 °C !

18.2 Gefahrenbezeichnungen und Gefahrensymbol

Der Flammpunkt dient als wesentlichstes Kriterium für die Zuordnung der <u>Gefahrenbezeichnung</u> und des <u>Gefahrensymbols</u> bei der Kennzeichnung einer brennbaren Flüssigkeit.

Dies veranschaulicht die Übersicht auf den nächsten Seite.

Gefahrenbezeichnung:	Gefahrensymbol:
„Hochentzündlich“ [Extremely flammable]	***Flammensymbol***
„Leichtentzündlich“ [Highly flammable]	***Flammensymbol***
„Entzündlich“ [Flammable]	**Kein Gefahrensymbol !** Das heißt: Brennbare Flüssigkeiten, die bei einer (Umgebungs)Temperatur von 21 ··· 55 °C soviel Dampf entwickeln, dass dieser entzündbar ist, *tragen kein Gefahrensymbol !*
Brennbar	**Kein Gefahrensymbol,** wenn die Gefahr bei (Umgebungs)Temperaturen > 55 °C eintritt

Zusammenhang der Gefahrenbezeichnung mit dem Flammpunkt:

F+	**F**	kein Kennbuchstabe	ohne Kennzeichnung
hochentzündlich	**leicht entzündlich**	**entzündlich**	
R 12	R 11	Einzige Kennzeichnung: **R 10**	kein R-Satz
		kein Symbol !	Keine Kennzeichnung
a) Flüssigkeiten mit **Flammpkt < 0°** und **Kp < 35 °C** b) **Gase**, die bei Normalbedingungen mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden	a) Flüssigkeiten mit Flmpkt ab **0° bis < 21 °C** sowie **Flmpkt < 0 ° mit Kp ≥ 35 °** b) Stoffe, die sich an der Luft erhitzen und dann entzünden können; c) Stoffe, die bei Berührung mit Feuchtigkeit entzündliche Gase in gefährlicher Menge freisetzen; d) Feststoffe, die nach kurzzeitiger Zündung weiter brennen	Flüssigkeiten mit Flmpkt **von 21° bis 55 °C** *Problematisch, weil in modernen Gebäuden und im Sommer Raumtemperaturen von mehr als 21 °C erreicht werden!*	Flüssigkeiten mit Flammpunkt **über 55 °C**
Nähere Angabe der Gefahren durch zB durch folgende R-Sätze			
(R18)	R 15, R 17, R 18		Keine
Die brennbare Flüssigkeit entspricht der Gefahrenklasse:			
A I oder B I		A II oder B II	A **III** (nur wasser-**un**mischbare)

18.3 Beispiele für die Einstufung brennbarer Stoffe

F+



„F“ von facilement inflammable frz. leicht entzündlich

Hochentzündlich

<u>Flammpunkt < 0° mit Kp ≤ 35°</u>

Hochentzündliche „Flüssigkeiten“:

Flüssigkeiten sind hier definiert als Substanzen mit Kp > 10 °C; Der Siedepunkt (Kp) ist fallweise in kleiner Schrift in °C angegeben.

Diethylether (Kp=34), [Schwefelkohlenstoff (46, aber hoch brandgefährlich) *)], n-Pentan (36, Grenzfall), Acetaldehyd (20), Ethylenoxid (11), Ameisensäuremethylester (Methylformiat, 32), 2-Methyl-2-buten (35), Chlorethan (12), 2-Chlorpropan (35), 1,1-Dichlorethen (32), HCN (26), Furan (32), Ethylamin (17) ...

*) Schwefelkohlenstoff ist chemikalienrechtlich formal als „Leichtentzündlich“ (F) eingestuft.

Hochentzündliche Gase:

H_2S, Methanthiol (Kp=7), Methan, Ethan, Ethen, Acetylen, Propan, Propen, cyclo-Propan, Butane, Butene, Butadien, 2,2-Dimethylpropan (10), Chlormethan (– 24), Vinylchlorid, Dimethylether (– 25), Methylethylether (8), Methylvinylether (6), Methylamin (6), Dimethylamin (7), Trimethylamin (3), CO, PH_3 (– 88), AsH_3 (– 62), SiH_4 (– 111), Diboran B_2H_2 (– 93) ...



F

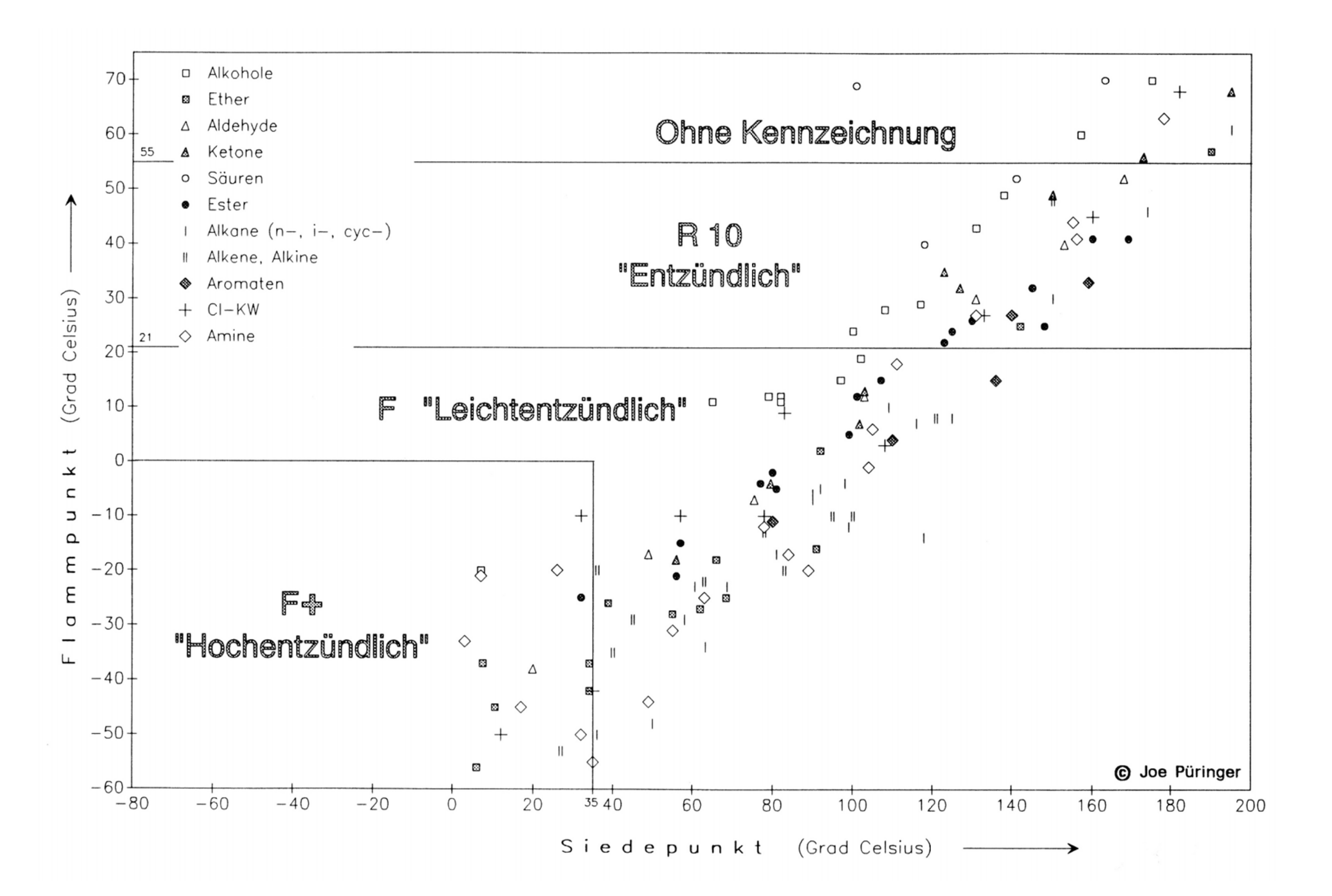


Leichtentzündlich

<u>Flammpunkt < 0° mit Kp > 35°</u> *oder* <u>0° ≤ Flammpunkt < 21° (unabhängig vom Kp)</u>

Aceton, Methanol, Ethanol, Propanole, t-Amylalkohol, t-Butanol, Hexan bis n-Octan, cyclo-Penten, cyclo-Hexan, Toluol, Benzol, Methyl-isobutyl-keton (= „Hexon“), Diisopropylether, Pyridin, Ethylacetat, Isobutylacetat, Diethylamin, Dioxan, Tetrahydrofuran, Ameisensäureethyl(-propyl,-butyl)ester, Acetonitril, Acetylchlorid, Na-Methylat (= Na-Methanolat); roter Phosphor

KW-Fraktionen: „Petroleumbenzin“ mit den folgenden Siedebereichen:
40 ··· 60 °C, 50 ··· 70 °C, 50 ··· 75 °C (= „Petrolether“), 60 ··· 80 °C, 80 ··· 100 °C, 100 ··· 120 °C, 100 ··· 140 °C


Alkohole
Ether
Aldehyde
Ketone
Säuren
Ester
Alkane (n–, i–, cyc–)
Alkene, Alkine
Aromaten
Cl–KW
Amine
Ohne Kennzeichnung
R 10
"Entzündlich"
F "Leichtentzündlich"
F+
"Hochentzündlich"
55
21
35
Flammpunkt (Grad Celsius)
Siedepunkt (Grad Celsius)
© Joe Püringer

Aus der Graphik auf Seite 120 kann folgende Faustregel abgeleitet werden:
Brennbare Flüssigkeiten mit einem Siedepunkt unter 140 °C sind praktisch immer leichtentzündlich oder hochentzündlich !

Weiters gehören zu den leichtentzündlichen Stoffen:

Stoffe, die mit Wasser oder feuchter Luft erhebliche Mengen brennbares Gas bilden (≥ 1 ℓ Gas/kg Stoff × h); einen Hinweis gibt „R 15 Reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase".

zB: Li, Na, K, Rb, Ca, Mg, Ba, Sr, Al-, Zn-, Zr-Pulver,
Hydride, Ca-Carbid, Phosphide,

Stoffe, die sich bei Raumtemperatur an der Luft spontan entzünden (vgl Abschnitt 18.8)

zB: weißer [=gelber] Phosphor,
bestimmte Metallcarbonyle, Raney-Nickel, Trichlorsilan,
Al-Alkyle, Zn-Alkyle, Mg-Alkyle, Li-Alkyle, Trialkylborane,
nicht stabilisierte Pulver von Al, Zn, Mg, Zr, ...

Entzündlich
(kein Flammensymbol,
nur **R 10**: „Entzündlich"):

21° C Flammpunkt ≤ 55 °C

Xylole, n- und iso-Butanol, 1-Pentanol (= n-Amylalkohol), Isoamylalkohol, n-Nonan und n-Decan, Petroleum (Siedebereich 180 ··· 220 °C), Di-isobutylketon, Cyclohexanon, Chlorbenzol, Chlortoluole, Cumol, n-Butylacetat, Essigsäure > 90 $\%^{m}/_{m}$, Essigsäureanhydrid, Dibutylether, Acetylaceton, ...

Entflammbar (brennbar)
aber: *kein Flammensymbol,*
kein R-Satz :

Flammpunkt > 55 °C

Anilin, Cyclohexanol, n-Buttersäure, Ethylenglykol, Glycerin, Dimethylsulfoxid, N,N-Dimethylformamid, Dichlorbenzol, Nitrobenzol, Phenol, Tetralin, Dekalin, Furfurol, Benzylalkohol, Benzaldehyd, Di-n-pentylether, Ethanolamin, ...

wassermischbare und nicht wassermischbare Heizbadflüssigkeiten (Flammpunkt je nach Flüssigkeit etwa 200 bis 300 °C)

Die Graphik auf **Seite 120** macht Details und Probleme der Kennzeichnung erkennbar.

18.4 Gefahrenklassen brennbarer Flüssigkeiten

Der Flammpunkt ist auch die Grundlage für die Einteilung der brennbaren Flüssigkeiten (bzw Mischungen) in die **Gefahrenklassen** AI, AII, AIII, BI und BII – siehe nachstehendes Schema. (Hinweis für die Benutzung deutscher Kataloge und Handbücher: In der BRD gab es nur die Gruppe BI, die dort als B bezeichnet wurde.) Die Gefahrenklasseneinteilung ist vor allem für die Lagerung größerer Mengen brennbarer Flüssigkeiten relevant (Limitierung der Lagerkapazität in Lösemittellagern, usw). Von praktischem Wert für die Laborarbeit ist, dass man aus der Gefahrenklasse leicht die Mischbarkeit mit Wasser erkennen kann.

Tabelle: Einteilung der brennbaren Flüssigkeiten in Gefahrenklassen

	Ist die Flüssigkeit (bzw ihre brennbaren Bestandteile) bei 15 °C vollständig mit Wasser mischbar ?		entsprechende Gefahrenkennzeichnung:
Flammpunkt [°C]	NEIN, ***nicht mischbar***	JA, ***wassermischbar***	
< 21 °C	**A** I	**B** I	F+ bzw F
21 ··· 55 °C	**A** II	**B** II	Entzündlich
> 55 ··· 100 °C	**A** III	keine Gefahrenklasse zugeordnet	keine

18.5 „Dochteffekt" und Aerosolbildung

Eine physikalisch-chemische Verteilung eines brennbaren Stoffes, die

1. eine **lokale Erreichung des Flammpunktes** (durch lokale Überhitzung) ermöglicht oder
2. eine **Erhöhung der Stoffkonzentration in der Gasphase** bewirkt,

kann <u>bereits unterhalb der Temperatur des</u> Flammpunktes die Gefahr der Entzündbarkeit bedeuten !

Beide Möglichkeiten bilden auch im Labor eine Gefahrenquelle:

zu 1.
Der sogenannte **Dochteffekt:**

In einem **Textilgewebe** odgl ist brennbare Flüssigkeit aufgesaugt. Dies kann zB ein Teil des ***Arbeitsmantels*** *(!)* oder ein ***Reinigungstuch*** sein. Wenn dieses Gewebe in die unmittelbare Nähe einer Flamme gebracht wird, kann die lokal einwirkende Hitze nicht rasch genug abgeleitet werden und bewirkt die Verdampfung des Stoffes – **der Flammpunkt wird auf dem von der Flamme gestreiften Stückchen überschritten** – und die Flamme entzündet den Dampf. Die entstehenden Flammen erhitzen die Nachbarbereiche und der Brand des Kleidungsstücks greift um sich.

Ohne den Dochteffekt könnte zB das Stearin der Kerze, dessen Flammpunkt weit über der Zimmertemperatur liegt, nicht ausreichend verdampfen, um die Kerzenflamme am Brennen zu halten.

zu 2.
Aerosolbildung:

Dabei wird die brennbare Flüssigkeit **versprüht oder vernebelt** oder sonst **fein verteilt.** Dadurch bildet sich – abseits des Verdampfungsgleichgewichtes – eine Konzentration an feinverteiltem, brennbarem Stoff in der Luft, die zur Entzündung ausreicht (dh die UEG überschreitet; vgl Abschnitt 19.5).

Obwohl die Temperatur des Flammpunktes nicht erreicht wird (sich also kein Verdampfungsgleichgewicht eingestellt hat), liegt im entzündbaren Raumbereich der feinverteilte Stoff in solcher Konzentration vor, wie dies bei normaler Verdampfung erst oberhalb des Flammpunktes zu erwarten wäre.

Eine praktische Anwendung findet diese Tatsache im Dieselmotor.

18.6 Das „Kriechen" der Dämpfe

Die **Dichte von Lösungsmitteldämpfen** ist immer größer als die Dichte von Luft. Diese Dämpfe können auf Flächen oder am Boden über weite Strecken (uU unter einem Türspalt bis in den Nebenraum) **kriechen.** Wird so ein „Dampfzug" gezündet, läuft die Flamme rückwärts bis zur Quelle des Dampfes. Ist die Quelle ein offenes Gefäß ohne Flammensperre (Abschnitt 5.1.1), kann die Flamme in dieses hineinlaufen, das in ihm vorhandene Dampf-Luft-Gemisch zünden und brennbare Flüssigkeit (die zugleich entzündet wird) *meterweit* herausschleudern.

Daher müssen brennbare Dämpfe immer abgesaugt werden (Abzug: Abschnitt 22). Entstehen brennbare Dämpfe ausnahmsweise zB beim Umleeren außerhalb des Abzugs, so soll man diese Arbeit nicht über der Tischplatte ausführen, sodass die Dämpfe direkt zu Boden sinken können und sich nicht am Tisch verteilen.

18.7 Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen für die Handhabung brennbarer Flüssigkeiten finden Sie in Abschnitt 6.1 sowie an mehreren anderen Stellen in SICHER ARBEITEN sowie in den vorliegenden Unterlagen. Auch Beschränkung der im Labor vorrätig gehaltenen Mengen an brennbaren Stoffen gehört zu diesen Schutzmaßnahmen.

Arbeiten mit brennbaren Flüssigkeiten

- Brennbar bzw explosionsfähig ist der Dampf bzw das Dampf-Luft-Gemisch
- Verwenden Sie daher vorrangig nicht entzündliche Flüssigkeiten oder solche mit einem hohen Flammpunkt
- Dämpfe „kriechen" viele Meter weit
- Dämpfe wegsaugen → Abzug verwenden
- Brennbaren Flüssigkeiten nicht am Brenner erhitzen
- Steinwolle-Auffangwanne (siehe unten) unter größeren Apparaturen anbringen
- Möglichst kleine Mengen am Arbeitsplatz und im Labor vorrätig halten
- Lagerung möglichst in Sicherheitsschränken (Abschnitt 5.1.1).

Bei Arbeiten in Glasapparaturen muss man stets das Risiko des **Brechens der Kolbens** oder anderer Glasgeräte berücksichtigen. Beim Arbeiten mit größeren Mengen hoch- oder leichtentzündlicher Flüssigkeit kann ein Glasbruch zu einem Großbrand führen.

Daher haben sich **Auffangwannen** (Brandschutzwannen) für die Anbringung unter der Apparatur sehr bewährt. Sie enthalten einen Wabengittereinsatz oder eine Mineralwollefüllung. In den (Universitäts)Laboratorien der BRD ist ihre Verwendung beim Arbeiten mit mehr als **3 Litern** hoch/leichtentzündlicher Flüssigkeit verpflichtend.

Eine Wanne der Größe 45 x 45 x 15 cm wurde mit einer ausfließenden Mischung aus 2 ℓ Ether, 2 ℓ n-Heptan und (!) 4 ℓ n-Butanol getestet. In der leeren Wanne schlugen die Flammen 1,8 m hoch; in der mit Sand gefüllten Wanne waren sie noch 0,8 m hoch. Über der mit 9 cm Steinwolle gefüllten Sicherheitswanne waren die Flammen kaum mehr sichtbar. Die Mineralwolle wirkt verdampfungsmindernd und wärmeisolierend; das die Wanne abdeckende Lochblech schwächt die Sauerstoffzufuhr stark ab.

18.8 Selbstentzündliche Stoffe

Manche Stoffe reagieren bei Raumtemperatur mit Luft und/oder Feuchtigkeit so stark, dass durch die Reaktionswärme die Selbstentzündungstemperatur (Abschnitt 20.2) des Stoffes oder eines seiner Reaktionsprodukte erreicht wird: **Diese Verbindungen können sich spontan „selbst entzünden“.** Bei richtig gekennzeichneten Handelsprodukten kann „**R 17** Selbstentzündlich an der Luft“ darauf hinweisen.

Beispiele für selbstentzündliche Stoffe:

Metallhydride wie NaH, $LiAlH_4$

Nichtmetallhydride wie B_2H_6 und andere Borane, PH_3, AsH_3, Silane ...

Nichtmetallalkyle wie R_3B (Trialkylborane), R_3P, R_3As ...

weißer (gelber) Phosphor

zahlreiche *Metall-alkyle* und *Metall-aryle* wie RLi, RNa, R_3Al, R_2Zn, R_3Bi ...

Grignard-Verbindungen (RMgX)

Alkalimetalle (Na, K, Rb, Cs)

feine Metallpulver (nicht stabilisiert) zB Mg, Zn, Ti, Zr, Al, Sn, Co, Fe, Mn, Pd, ...

Katalysatoren zB Raney-Nickel, feinverteiltes Pt oder Pd/Aktivkohle ...
Raney-Nickel brennt im trockenen Zustand von selbst. Mit den Händen oder am Arbeitsmantel verschleppte feuchte Katalysatorreste können Brände auslösen.

Metallcarbonyle wie $Ni(CO)_4$, $Fe(CO)_5$, $Co_2(CO)_8$ ...

frisch getrocknete Aktivkohle

Selbstentzündliche Stoffe getrennt von anderen brandgefährlichen (Symbole: F, O) **Stoffen aufbewahren !**

Selbstentzündliche Stoffe soll man möglichst in **inerter Atmosphäre** (trockener N_2, Ar) handhaben. Die Arbeiten müssen **im Abzug** ausgeführt werden (an die allgemeine Regel, dass nur für die unmittelbare Arbeit benötigten Gebinde im Abzug stehen sollen, sei erinnert). Geeignete **Löschmittel** bereithalten. Reste selbstentzündlicher Stoffe müssen vor der Entsorgung **zerstört/inaktiviert** werden. Siehe auch Abschnitt 6.2 in SICHER ARBEITEN.

18.9 Leichtentzündliche Metalle

Die Vergrößerung der Oberfläche führt bekanntlich dazu, dass chemische Reaktionen rascher ablaufen können. Bei vielen Metallen in der Form des (feinen) Pulvers kann dies zur Selbstentzündung (Abschnitt 18.8) bei Luft- oder Feuchtigkeitszutritt führen.

Viele Metalle können als Pulver entzündet werden, manche Metalle sogar im kompakten Zustand – siehe die Beispiele in der folgenden Tabelle.

Beispiele für brennbare Metalle		
Metall	Zustand	Entstehende giftige Produkte
Li	Kompakt	
Na, K	Kompakt	
Mg	kompakt (in der Hitze)	
Ca	kompakt (in der Hitze)	
Sr	Kompakt	
Ba	Kompakt	Nitrid
Al	als Pulver	
Sb	als Pulver	Oxid
As	als Pulver	Oxid
Zn	als Pulver	
Ni	als Pulver	Oxid
Cd	als Pulver	Oxid
Ti	kompakt (in der Hitze)	
Zr	als Pulver	
Pb	als Pulver	Oxid
U, Th, Pu	Kompakt	radioaktiv

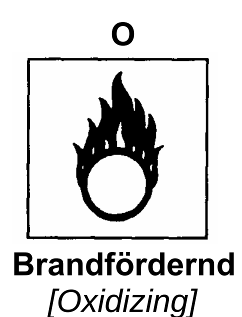
Eine weitere Gefahr stellt die **Entwicklung von Wasserstoffgas in feuchter bzw säurehaltiger Luft** dar. Sie ist beispielsweise bei Li, Rb, Mg, Ba, Sr, Al, Ti, Zr, Zn ... zu beobachten.

18.10 Brandfördernde Stoffe

Brandfördernde (oxidierende) **Stoffe** enthalten in der Regel relativ leicht verfügbaren Sauerstoff und ermöglichen die Aufrechterhaltung und die Ausbreitung eines Brandes **ohne Luftzufuhr.** In Kontakt mit entzündlichen Stoffen reagieren sie stark exotherm und können so deren **Entzündung bewirken.** Brände, an denen solche Stoffe beteiligt sind, können nur durch Abkühlen gelöscht werden.

Brandfördernde Substanzen sind mit dem nachstehend gezeigten Gefahrensymbol gekennzeichnet.

O



Brandfördernd
[Oxidizing]

Beispiele:
Salpetersäure $\geq 70\ \%^{m}/_{m}$, Perchlorsäure $\geq 50\ \%^{m}/_{m}$ (siehe auch Abschnitt 12.3), Fluor, Sauerstoff (Gas oder flüssig; siehe Abschnitt 13.3), flüssige Luft, Wasserstoffperoxid $\geq 60\ \%^{m}/_{m}$, anorgan. Peroxide, organische Peroxide, Perchlorate, Chlorate, Chlorite, Hypochlorite, Nitrate, Nitrite, Bromate, (Per)Iodate, Permanganate, Persulfate, Distickstoffoxid, Chrom(VI)-oxid, ...

Auf richtig gekennzeichneten Handelsverpackungen können zusätzlich
„R 8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen“ und eventuell
„R 9 Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen“
auf die Gefahr hinweisen.

Brandfördernde Stoffe nicht zusammen mit brennbaren Stoffen lagern !

19 Explosionsgefahren im Laboratorium

19.1 Zwei Arten der Explosionsentstehung

Es ist nützlich, hinsichtlich der Explosionsgefahr **zwei unterschiedliche Gefahrenquellen bzw Mechanismen des Zustandekommens** zu unterscheiden:

1. Die Zündung eines **explosionsgefährlichen festen oder flüssigen Stoffes bzw einer Mischung** (besprochen in Abschnitt 19.2).
   Dies entspricht dem herkömmlichen Bild des explodierenden *„Sprengstoffes“*

2. Die Bildung und Zündung einer sogenannten **explosionsfähigen Atmosphäre** (allgemein ausgedrückt: die Bildung eines **entzündbaren gasförmigen Gemisches,** vgl die Abschnitte 19.4 bis 19.6) → Typus „Gasexplosion“

Als explosionsfähige gasförmige Gemische kommen **Dampf-Luft-Gemische (als Gas-Luft-Gemische** bezeichnet, wenn die brennbare Komponente schon als Gas vorlag) sowie **Staub-Luft-Gemische** in Frage. Letztere können auf analoge Weise Staubexplosionen bewirken; sie spielen in der Verfahrenstechnik und in der Lebensmittelindustrie (Mehl, Zucker) eine große Rolle, nicht aber im Laboratorium.

Während bei der „Sprengstoff“-Explosion ein kleines, relativ kompaktes Volumen reaktionsfähiger Stoffe in extrem kurzer Zeit gewaltig expandiert, resultieren bei der Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre die Folgen aus der *Zündung einer Gaswolke* (die ein relativ großes Raumelement einnimmt); man spricht deshalb auch von einer *„Raumexplosion“.* In kleiner, optimierter Form findet sie im Explosionsmotor statt. Die Raumexplosion entspricht dem herkömmlichen Bild der *„Gasexplosion“.* Die Gaswolke (= explosionsfähige Atmosphäre) kann sich irgendwo im Arbeitsraum bilden, vergrößern und weiterbewegen; sie hat keine scharfen Grenzen (ausgenommen wenn sie einen bestimmten Behälter, zB einen Abzug, oder schon den ganzen Raum ausfüllt). Sie wird meist erst bemerkbar, wenn sie schon explodiert.

Die **Explosionswirkungen** können in beiden Fällen verheerend sein.

Bei der „Sprengstoff“-Explosion treten vermehrt geschossartig beschleunigte **Splitter** und Trümmer auf.

Durch die **Druckwelle**, die bei der Raumexplosion besonders ausgeprägt ist, werden zumindest Glasscheiben sowie minder stabile Zwischenwände und andere Raumbegrenzungen sowie Gegenstände im Raum zerstört. Große Fensterscheiben bersten bei einem Druckstoß von ~ 0,05 ··· 0,08 bar. Offen im Raum aufgestellte Chemikalienbehälter etc werden weggeschleudert und zerbrochen, Druckgasflaschen können umgeworfen werden usw. Die Wirkung der Druckwelle ermöglicht uU überhaupt erst die Entstehung eines Brandes.

Bei Explosion eines Dampf-Luft-Gemisches hat man am Rande der explosionsfähigen Atmosphäre mit einem Druckstoß von 5 bis 10 bar zu rechnen (10 bar bedeuten 10 kp/cm^2 !)

Für **Menschen** ist ohne Schädigung ein Druckstoß von höchstens ~0,2 bar zu ertragen. Ein höherer Druckstoß bewirkt uU tödliche innere Verletzungen (Lungenriss...). Ein

Trommelfellriss kann ab ~0,15 bar Druckdifferenz eintreten. Dazu kommt (Lebens)Gefahr durch von der Druckwelle beschleunigte Gegenstände sowie dadurch, dass man selbst durch den Raum geschleudert wird.

Die Druckwelle ist von einer kurzen Welle (sehr) **hoher Temperaturen** begleitet, die zur Entzündung von (allenfalls gerade frei gesetzten) Chemikalien sowie von leicht entzündbaren Gegenständen (loses Papier...) führen kann. (Siehe Theorie in Abschnitt 13.3.)

19.2 Feste / flüssige explosionsgefährliche Stoffe und Mischungen

Viele feste oder flüssige Stoffe oder Mischungen können durch äußere Einwirkung von Wärme, Funken, Schlag, Erschütterung, Reibung, UV-Strahlung oder manchmal sogar *ohne feststellbare äußere Einwirkung* sehr rasch ablaufend stark exotherm reagieren. Außer der großen Wärmemenge, die in einem sehr kleinen Reaktionsvolumen plötzlich frei wird, entstehen bei der Reaktion in der Regel auch gasförmige Produkte, die durch die Hitze gleichzeitig stark expandiert werden. Damit sind die physikalisch-chemischen Kennzeichen eines „Sprengstoffes" gegeben. Substanzen, die zu Reaktionen der genannten Art imstande sind, können *„explodieren";* man bezeichnet sie als **explosionsgefährlich.** (Definition siehe Abschnitt 19.3).

Chemisch gesehen handelt es sich bei der Explosion von *Reinstoffen* häufig um den Zerfall instabiler Verbindungen. Die instabile Verbindung kann disponiblen Sauerstoff enthalten, der die brennbaren Bestandteile des Moleküls (C, H) unter Wärme- und Gasentwicklung oxidiert (zB: organische Nitro-Vbdgen, Chlorate, Perchlorate, Nitrate, usw). Oder sie enthält keinen disponiblen Sauerstoff, aber bei ihrer Zersetzung wird genug Energie und Gas (zB N_2) für den Explosionsprozess frei (zB Knallsilber, Azide, Diazoniumsalze).

Auch Polymerisationen können explosionsartig verlaufen (zB Vinylacetat, Acrolein, Methylacrylat). Sie werden oft auch durch Spuren von Säure, Base oder Metallen oder durch vorangehende Peroxidbildung (siehe Abschnitt 10.2) ausgelöst.
Manche explosionsartige Polymerisationen, die auch im industriellen Maßstab vorgekommen sind, hatten ihren Grund darin, dass sich der dem Produkt beigemischte Stabilisator (Polymerisationsinhibitor) während der Lagerung abgebaut hatte.

Explosionsgefährliche Mischungen bestehen zumeist aus einer Mischung von Oxidations- mit Reduktionmitteln, die eine stark exotherme Redox-Reaktion ermöglichen.

Der Übergang zwischen dem möglichen Eintreten einer heftigen Reaktion und dem Eintreten einer Explosion ist fließend. Vor allem bei höherer Temperatur oder bei bestimmten Beimengungen zum Stoff oder Reaktionsgemisch können viele Reaktionen mit ihrer Heftigkeit auch erfahrene ChemikerInnen überraschen.
Viele Stoffe (und noch mehr Mischungen) sind daher potenziell explosionsgefährlich ! Explosionsgefährliche Verbindungen werden nur selten als Ausgangsstoffe eingesetzt oder als Reaktionsprodukte erzeugt. Vielmehr bilden sie sich in der Regel als Zwischenstufe oder als – häufig nicht ausreichend beachtetes ! – unerwünschtes Nebenprodukt.

Der fließende Übergang zwischen heftiger Reaktion und Explosion hängt mit der Geschwindigkeit, mit der die Reaktion im explodierenden Medium fortschreitet, zusammen (siehe Näheres in Abschnitt 19.4).



Aus dem seltenen Vorkommen des Gefahrensymbols „explosionsgefährlich“ (Abschnitt 19.3) dürfen Sie keinesfalls auf das seltene Auftreten dieser Gefahr schließen.

Informieren Sie sich daher schon vor der Handhabung von nicht bekannten Stoffen über allfällige heftige oder explosive Reaktionsmöglichkeiten (zB mit Mischungspartnern). Ebenso wichtig ist es, bei der Versuchs- und Syntheseplanung zu überprüfen, ob sich hochreaktive oder explosive (Neben)Produkte bilden könnten. Die Abwesenheit eines Warnhinweises in der Arbeitsvorschrift besagt gar nichts!

Im ausführenden Labor noch nicht erprobte Reaktionen sind jedenfalls im Abzug (Frontschieber geschlossen) durchzuführen.

Die als Wärme, Stoß usw zugeführte Energie liefert die nötige Aktivierungsenergie und löst die Reaktion aus. (Manche Stoffe explodieren vor allem oder ausschließlich durch Schlag, zB Ammoniumdichromat, Ammoniumnitrat, Dimanganheptoxid.)

Häufig kann eine Explosion schon durch die Reibung mit einem Glasstab, Metallspatel oder an einem Glasschliff ausgelöst werden (zB bei Etherperoxiden, Knallsilber, Ag-, Hg-Fulminat, Iodstickstoff, Mn_2O_7 ua).

→ Sofern explosionsgefährliche Substanzen in Schliffgefäßen gehandhabt werden müssen, sind daher die Schliffe gut zu fetten.

Auch winzige Säurespritzer (H_2SO_4 im Exsikkator) auf einen explosionsgefährlichen Stoff haben – durch katalytische Wirkung – schon manch schwere Laborexplosion ausgelöst.

Meist können schon kleine Substanzmengen heftige Explosionen bewirken.

Einige wichtige Stoffgruppen, deren Vertreter häufig explosionsfähig sind:

- *Peroxide von Ethern und anderen Verbindungen* – **siehe Abschnitt 10.2 !** *Dibenzoylperoxid und einige andere Vbdgen des Typs* R–O–O–R', einige (konz.) *Percarbonsäuren* (R–CO–O–O–H), *Perester* und *Peranhydride*
- *Perchlorate: Organische Perchlorate* stellen eine heimtückische Gefahr dar, wenn ihre Entstehung nicht erkannt wird. Beispiel: Bildung organischer Perchlorate in den organischen Konstruktionsmaterialien [Holz] eines Abzuges zum Aufschließen / Abrauchen mit Perchlorsäure; das instruktive Unfallbeispiel ist bei den *„Unfällen bei chemischen Arbeiten (Fallbeispiele) und sicherheitstechnischen Praxisbeispielen“* abgedruckt. — $MgClO_4$ darf nicht als Trockenmittel (Exsikkator, ...) verwendet werden, weil organische Stoffe/Dämpfe, die mit ihm in Kontakt kommen, in org. Perchlorate umgewandelt werden können.
- *Perchlorsäure > 50* $\%^{m}/_{m}$ beim Erhitzen. *Ammonium(per)chlorat; Ag-, Pb-Chlorit.*

  Als sicher angesehen werden die in der organischen Synthese manchmal verwendeten Diethylether – $LiClO_4$-Systeme, in denen die Polarität des Ethers durch das zT ionisch gelöste $LiClO_4$ modifiziert wird.
- *Stickstofftrihalogenide* (NI_3/NHI_2/NH_2I [Iodstickstoff], NCl_3 [Chlorstickstoff], NBr_3), die sich in Gegenwart von Ammoniak leicht mit den Halogenen oder Hypohalogeniten (zB: NaOCl) bilden. Kann zB als Nebenprodukt von Halogenierungen auftreten!
- *Diazoniumsalze* in trockener Form ($R\text{-}^{+}N{\equiv}N\ X^{-}$) und *Diazomethan* ($CH_2N_2$) in konzentrierter Lösung.

- *Polynitroderivate vieler Aromaten* (Benzol, Chlorbenzol, Toluol, Xylol, Kresol, Resorcin, Anisol...): Pikrinsäure und ihre Salze, Nitrophenolate, Tetranitronaphthalin; *(Poly)Nitroalkane* zB: Nitromethan, Nitroethan.
- *Salpetersäureester* zB: Glycerintrinitrat, Glykoldinitrat; *Salpetrigsäureester.*
- *Acetylide* (Acetylensalze zB $HC{\equiv}C\text{-}Ag^+$, auch mit Cu, Hg, Mg ua), *Halogenacetylene* (zB: Dichloracetylen), *Polyacetylene*
- *Azide* (Azide von Ag, Hg, Pb, Cu, Ni, Ca...) und *Stickstoffwasserstoffsäure* (N_3H), *Halogenazide* (zB IN_3), *organische Azide* (zB $CH_3\text{-}N_3$). Na-Azid, das bisweilen als Bakterizid für Lösungen verwendet wird, darf mit Pb, Cu, Ni... – auch in Entsorgungsbehältern und im Abfluss – nicht in Berührung kommen !
- ***Fulminate*** (zB: $Ag^+ \; {}^-C{\equiv}N^+\text{-}O^-$, manchmal auch als Knallsilber bezeichnet), das sind Salze der Knallsäure.
- ***„Knallsilber":*** In ammoniakalischen Silbersalz-Lösungen wie sie zB bei der TOLLENS-Reaktion zum Aldehydnachweis, beim Stehenlassen von nicht verbrauchtem TOLLENS-Reagenz oder bei der Silberspiegel-Abscheidung bei der Prüfung auf Ag vorkommen, scheidet sich nach einiger Zeit ein dunkler Niederschlag ab, der teilweise aus „Knallsilber", einer nichtstöchiometrischen Verbindung (Ag_3N/Ag_2NH ?, jedenfalls kein Fulminat) besteht und beim Berühren, Umrühren oder Eindampfen heftig explodieren kann.
  ➔ **Silbersalze nie in Ammoniaklösung stehen lassen!**
  Gleich nach dem Nachweis verdünnte Salpetersäure zur Reaktionsmischung geben, um die Knallsilber-Bildung zu unterbinden.

Explosionsgefährliche Mischungen

Explosionsgefährliche Mischungen sind meist Gemische von Oxidationsmitteln mit oxidierbaren Stoffen. Sie sind Mischungen des Typs „Alkaliperchlorat + Phosphor" – Bei diesem Beispiel ist das Gefahrenbewusstsein der im Labor Tätigen in der Regel vorhanden, bei Gemischen wie
„$AgNO_3$ + Ethanol" oder
„Chlorkohlenwasserstoff + Na" oder
„Hypochlorit + Amin"
schweigen die Alarmglocken jedoch häufig. So hat der Versuch, ein halogeniertes Lösungsmittel mit Na zu trocknen, schon häufig mit einer Explosion geendet. Al und Mg reagieren in der Hitze sogar mit Carbonaten, Sulfaten oder Eisenoxiden sehr heftig.

*Einige relevante **Oxidationsmittel:*** konz Salpetersäure, Perchlorsäure, H_2O_2, Halogene, Chlorate, Permanganate, Dichromate, O_2, Mn_2O_7, Schwefelsäure, Hypochlorit ...

*Einige relevante **Reduktionsmittel:*** Alkohol, Ether, Aceton, Amin, Hydrazin, Hydrid, Phosphor, Schwefel, Aktivkohle (zB Entfärbungsmittel), Alkalimetall, Metallpulver ...

- ♦ Das Entstehen explosionsgefährlicher Mischungen oder Stoffe muss vermieden werden. Ihre Reste müssen sofort nach ihrem Anfall deaktiviert und entsorgt werden.
- ♦ Vor dem Mischen von Stoffen erforderlichenfalls in einschlägigen Verzeichnissen etc nach Gefahrenhinweisen, Unverträglichkeitsangaben und Warnungen suchen !

Wenn der Umgang mit einem explosionsgefährlichen Stoff/Gemisch nicht vermeidbar ist, muss die Arbeitsweise nach folgenden Gesichtpunkten geplant werden:

- Nur kleinste Mengen einsetzen
- Geschützt zusätzlich durch Schutzscheibe und Gesichtsschutzschirm etc arbeiten
- Langstielige Werkzeuge verwenden; Splitterschutz der Hände durch feste Handschuhe etc
- Arbeitsplatz allseitig elastisch abschirmen (zB mit zähen Kunststoffmatten)
- In einem eher großen Raum arbeiten
- Entsprechend den Stoffeigenschaften erforderlichenfalls zusätzliche Schutzmaßnahmen und Arbeitstechniken festlegen.

Beispiele und Sicherheitsmaßnahmen siehe auch Abschnitt 6.3 in SICHER ARBEITEN sowie oben die Abschnitte 10.2 (Ether-Peroxide) und 8.3 (flüssiger Sauerstoff).

19.3 Kennzeichnung „Explosionsgefährlich“

E

Explosionsgefährlich

Als „explosionsgefährlich“ gilt ein Stoff (oder eine Mischung) in fester oder flüssiger Phase, der (die) auch ohne Beteiligung von Luftsauerstoff exotherm unter schneller Entwicklung von Gasen reagieren kann und unter festgelegten Prüfbedingungen (durch Erhitzen, Zündung, Schlag oder Reibung) zur Explosion gebracht werden kann und dabei gegen Schlag oder Reibung empfindlicher ist als Dinitrobenzol. (Beispiele sind in Abschnitt 19.2 genannt)

Viele der so reaktionsfähigen Stoffe sind – sofern sie im Handel sind – *nicht* mit dem Gefahrensymbol E versehen, weil sie **stabilisiert** oder durch Zusatz von Wasser **phlegmatisiert** sind.

Phlegmatisierte Stoffe dürfen nicht getrocknet werden !

Beispiele für phlegmatisierte Stoffe: Ammoniumdichromat (phlegmatisiert mit 0,5···3 % H_2O); Bezoylperoxid (phlegmatisiert mit 25 % H_2O); *tert*-Butylhydroperoxid (als 70%ige Lösung in H_2O); Pikrinsäure (phlegmatisiert mit ~50 mℓ H_2O pro 100 g); 2,4-Dinitrophenol (phlegmatisiert 50 mℓ H_2O pro 100 g), Dinitrophenylhydrazin (phlegmatisiert 50 mℓ H_2O pro 100 g). Zu beachten ist der R-Satz R 1: „In trockenem Zustand explosionsgefährlich“.

Sinkt beispielsweise der Wassergehalt in Pikrinsäure unter 30%, ist das Gebinde als explosionsgefährlich zu betrachten. Eingetrocknete Pikrinsäure ist höchst stoß- und reibungsempfindlich, so aufgefundene Behälter sind vom Entminungsdienst bergen zu lassen! Peinlich genau achte man darauf, dass sich im Gewinde eines Schraubdeckels oder in einem Schliff keine Pikrinsäure verbleibt, denn beim Öffnen des Gefäßes hat kann inzwischen eingetrocknete Pikrinsäure eine Explosion auslösen. Ebenso darf Pikrinsäure nicht mit Metall (zB Gefäßverschlüsse) in längeren Kontakt kommen, da die sich bildenden Pikrate äußerst empfindlich sind.

19.4 Explosionsfähige Atmosphäre

Von explosionsfähiger Atmosphäre spricht man – siehe Abschnitt 19.1.2 –, wenn ein **brennbares Gas (Dampf) gemischt mit Luft** unter atmosphärischen Bedingungen – dh bei meteorologisch üblichem Druck/Temperatur – **in solcher Konzentration vorliegt, dass sich im Gemisch nach erfolgter Zündung eine Verbrennung selbständig ohne weitere Energiezufuhr sehr rasch, dh explosionsartig fortsetzt.**

Die Bezeichnung „explosionsfähiges Gemisch" ist ein Überbegriff. Er bezieht auch meteorologisch nicht vorkommende Drucke/Temperaturen mit ein.

Die rasche exotherme Reaktion muss *nicht* mit Sauerstoff ablaufen: Explosionsfähig können auch Gasmischungen sein, in denen *andere* stark exotherme Reaktionen auslösbar sind. So können *Polymerisationsreaktionen* als Explosion ablaufen, zB in reinem Acetylen. Solche Explosionsereignisse werden auch als „**Zerfall**" bezeichnet.

Bereiche, in denen die Gefahr des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre besteht, werden va in der Industrie und auf Baustellen (Gasleitungen!), kaum aber im Labor, mit dem nebenstehenden Warnsymbol gekennzeichnet.



Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre

Verpuffung – Explosion – Detonation:

Bei Explosionen liegt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der chemischen Reaktion zumeist unter 100 m/s [~1 ··· 1000 m/s]. Die **Verpuffung** verläuft mit < 1 m/s langsamer (und daher meist weniger folgenschwer). Steigt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einer Explosion auf über 1000 m/s [bis zu 10 000 m/s], spricht man von einer **Detonation.**

Detonation entsteht, wenn die Zündung des noch nicht explodierten Mediums nicht mehr (wie bei der Explosion) durch Wärmeleitung ausgehend vom gerade explodierenden Bereich, sondern durch stoßartige Druckübertragung (Stoßwelle) erfolgt [Geschwindigkeit der Stoßwelle zB in TNT ~ 7 km/s, in Pb-Azid und Hg-Fulminat ~ 5 km/s]. Ob eine Detonation eintritt, hängt vom Ausmaß und der Steilheit des Druckanstieges der Gase in der gerade explodierenden Zone ab. In Detonationen treten Temperaturen von 2500 bis 6000 °C und Stoßwellen mit bis zu 300 000 bar auf, was zu extrem schweren Zerstörungen führt. Bei detonierenden Gasgemischen entstehen die schwersten Zerstörungen nicht an der Zündstelle, sondern in größerer Entfernung, weil sich die Stoßwelle erst über eine gewisse Wegstrecke aufbaut.

Bei Explosionen (und Detonationen) kommt es zu einem **gefährlichen Druckstoß**. Dieser kann Menschen direkt (zB Riss der Lunge) oder indirekt (zB durch weg geschleuderte Splitter oder Gegenstände) verletzen oder töten. Weiters kann der Druckstoß frei stehende Gegenstände (zB Flaschen) durch den Raum schleudern und die Laboreinrichtung wie auch die Wände des Raumes zertrümmern.

Zu beachten ist, dass in der vom Druckstoß durchlaufenen Luft die Gastemperatur enorm erhöht wird, dh von einem **„Hitzestoß"** begleitet ist. Es können auf Grund der adiabatischen Kompression (siehe Abschnitt 13.3) Temperaturen von mehreren hundert °C auftreten, die brennbare Dämpfe sowie leicht brennbares festes Material (loses Papier) entzünden können.

Damit eine explosionsfähige Atmosphäre explodiert, müssen **folgende vier Bedingungen erfüllt sein:**

1. **Dispersionsgrad:** Der brennbare Stoff muss ausreichend gut mit Luft vermischt sein. Dies ist bei Dampf-Luft-Mischungen immer anzunehmen. Auch das **Versprühen eines brennbaren Stoffes** (Nebel, Aerosol; Tröpfchengröße ≤ ~0,5 mm) schafft eine explosionsfähige Atmosphäre (siehe Abschnitt 18.5).
2. **Die Konzentration des brennbaren Stoffs** muss **innerhalb der Explosionsgrenzen** (siehe Abschnitt 19.5) liegen.
3. **Ein ausreichendes Volumen an explosionsfähiger Atmosphäre** muss vorliegen, die sog. gefahrdrohende Menge: Als Faustregel gilt, dass etwa *10 Liter* explosionsfähiges Dampf-Luft-Gemisch für das Erzeugen einer Explosionswirkung (zerstörende Druckwelle) ausreichen.

   In Räumen mit weniger als 100 m^3 Rauminhalt gilt als gefahrdrohende Menge 10^{-4} des Raumvolumens, in einem 50 m^3-Raum sind dies also etwa 5 Liter.
4. Eine **wirksame Zündquelle** (Beispiele in Abschnitt 20) muss vorhanden sein.

Der **Übergang Verpuffung → Explosion** ist fließend (siehe oben).

Eine Verpuffung als verlangsamte und daher schwache „Explosion" ist zu erwarten,

[zu 1] wenn ausnahmsweise eine ausreichende Durchmischung nicht gegeben ist,

[zu 2] wenn die Konzentration oberhalb der OEG liegt und/oder

[zu 3] wenn das Volumen der explosionsfähigen Mischung die gefahrdrohende Menge unterschreitet.

19.5 Explosionsgrenzen

Explosionsfähig ist ein Dampf-Luft-Gemisch (oder Staub-Luft-Gemisch) nur, wenn die **Konzentration des brennbaren Stoffs** in Luft zwischen der

Unteren Explosionsgrenze (UEG) *[lower flammable limit]* und der

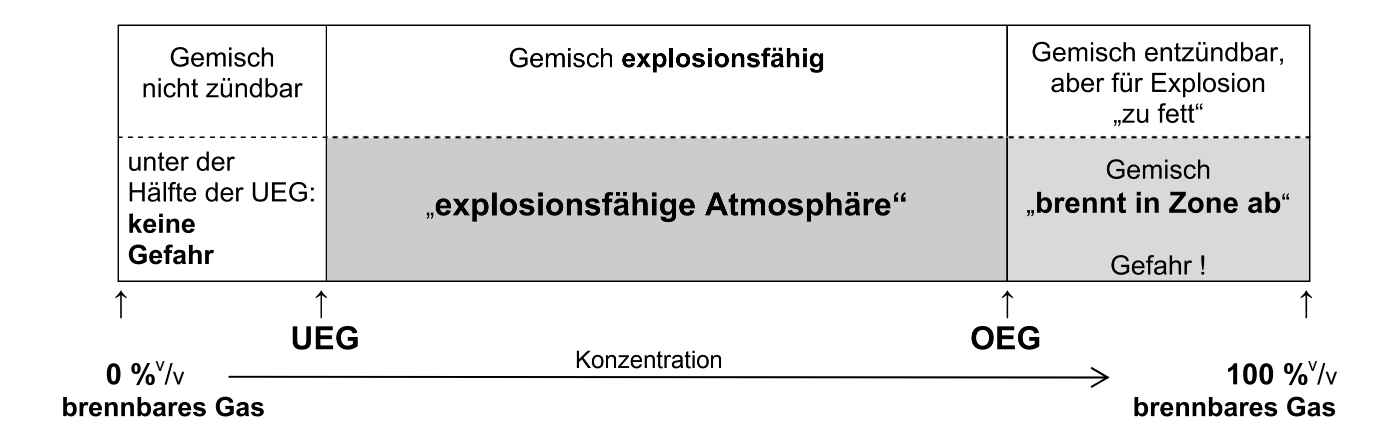
Oberen Explosionsgrenze (OEG) *[upper flammable limit]*

liegt.

Dies gilt **für brennbare Flüssigkeitsdämpfe** (Dampf-Luft-Gemisch) genauso wie für **brennbare Gase** (Gas-Luft-Gemisch) wie Wasserstoff, H_2S, Methan, Acetylen usw.
Es gilt auch für brennbare Stäube.

Der Bereich zwischen UEG und OEG heißt **Explosionsbereich**. Das explosionsfähige Gemisch wird manchmal auch als *„zündfähiges Gemisch",* die Explosionsgrenzen werden manchmal als *„Zündgrenzen"* bezeichnet.

Ein Gemisch in stöchiometrischer Zusammensetzung explodiert in der Regel besonders brisant. (Als Brisanz wird der Druckanstieg in der Explosionsdruckwelle pro Zeiteinheit bezeichnet.)



Schema: Verhalten von Mischungen eines brennbaren Gases (Dampfes) mit Luft bei Wirksamwerden einer Zündquelle

Unterhalb der UEG enthält das Gemisch zu wenig brennbaren Stoff pro Volumeneinheit, sodass eine Entzündung des Gemisches nicht möglich ist.

Oberhalb der OEG enthält das Gemisch zu wenig Sauerstoff pro Volumeneinheit für eine augenblickliche, dh *explosionsartige* Oxidation. Es ist „zu fett“. *Im Fall einer Zündung brennt die entzündbare Gemisch-Wolke daher beginnend von ihrem Randbereich „in Zone“ ab:* Eine „Flammenwand“ durchläuft den Raum: Die Gaswolke brennt an ihrem Rand mit Hilfe des hinzutretenden Sauerstoffes. Dies ist selbstverständlich für Personen und hinsichtlich der Entzündungsgefahr kaum weniger gefährlich als eine Explosion.

Beispiele für Explosionsgrenzen können Sie der nachfolgenden Tabelle und der Übersicht (Seite 142) entnehmen.

Einige Explosionsbereiche mit kleiner UEG in Luft	
	UEG ... OEG [%v/v]
Schwefelkohlenstoff	0,8 ... 60
1,3-Butadien	1,1 ... 15
Benzol	1,2 ... 8
i-Butan	1,3 ... 8,5
n-Butan	1,4 ... 9
n-Butanol	1,4 ... 11
Diethylether	1,7 ... 36
Propan	1,7 ... 10
Ethen	2,3 ... 33
Ethin	2,3 ... 82
Aceton	2,5 ... 13
Dimethylether	2,7 ... 32
Ethan	2,7 ... 15
Ethanol	3,5 ... 15
Wasserstoff	4,0 ... 77
Schwefelwasserstoff	4,3 ... 45
Methan	4,4 ... 16

Beispiele für Stoffe mit niedriger Unterer Explosionsgrenze

Die Explosionsgrenzen eines explosionsfähigen Gemisches **weiten** sich gegenüber den Explosionsgrenzen unter atmosphärischen Bedingungen **aus** bei

- höherer Temperatur bzw bei
- höherem Druck des Ausgangsgemisches und
- bei erhöhtem Sauerstoffgehalt im Ausgangsgemisch.

19.6 Schutzmaßnahmen gegen Raumexplosion

Die wichtigste und im Labor praktisch einzig mögliche Schutzmaßnahme gegen die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre besteht darin, das **Entstehen einer gefahrdrohenden Menge an explosionsfähiger Atmosphäre zu verhindern.** Die Alternative dazu, nämlich die Ausschaltung aller Zündquellen (Abschnitt 20), ist im Labor in der Regel undurchführbar.

Die im Labor stets angewandte Methode, um das Entstehen einer explosionsfähigen Dampf-Luft-Wolke zu verhindern, erfolgt durch das Absaugen brennbarer Dämpfe (Gase) möglichst unmittelbar am Entstehungsort.

Deshalb kommt dem Arbeiten im ordnungsgemäß funktionierenden *Abzug* (Abschnitt 22) **auch unter dem Gesichtspunkt des Explosions- und Brandschutzes so große Bedeutung zu !**

Sicherheitstechnische Vorschriften:

Geeignete Maßnahmen im Labor, im Abzug, im Chemikalienlager, am Arbeitstisch usw müssen sicherstellen, dass **zu keinem Zeitpunkt** ein brennbarer Stoff in der Luft in höherer Konzentration auftritt, als der Hälfte der Unteren Explosionsgrenze entspricht (Absaugung, Abführung, ...)

Wenn ein brennbares Gas in einer Apparatur erhitzt oder nach der Apparatur entzündet werden soll, muss das Freisein der Apparatur von Sauerstoff mittels wiederholter Knallgasprobe geprüft werden. Dabei ist für jede Einzelprobe ein frisches Reagenzglas zu verwenden !

Besondere Hinweise für das Arbeiten mit Wasserstoff:

Bei Wasserstoff ist auch seine Fähigkeit zur Diffusion durch Kunststoffmembranen, Schläuche, Druckausgleichsballone usw zu beachten. Wasserstoff kann sich weiters in gefährlicher Menge beispielsweise in Akkumulatoren bzw an Metallpulvern, Raney-Nickel usw sowie aus den entsprechenden Abfällen entwickeln. Vor dem Einleiten von Wasserstoff in größere Apparaturen sollen diese mit Stickstoff gespült werden (sog Inertisierung), damit in der Apparatur kein Knallgas entstehen kann.

20 Zündquellen

20.1 Diverse Zündquellen

Siehe auch die Abschnitte 16, 23.4 und 23.5 sowie in der Broschüre SICHER ARBEITEN die Abschnitte 4.5 und andere.

Zündquellen sind im Labor praktisch überall vorhanden

Einige Beispiele für Zündquellen:

- Flamme, Glut, Zündflamme in Gasgerät, zB. Durchlauferhitzer über Spülbecken !
- mechanisch erzeugte Funken, glühende oder heiße Partikel
- elektrische Funken in Schaltern, Motoren, Thermostaten, Telefon (bezüglich der häufig übersehenen Zündgefahr im *Kühlschrankinnenraum siehe Abschnitt 20.3.)*
- *elektrostatischer* Entladungsfunke — siehe Abschnitt 20.4.
- *heiße Oberfläche* — siehe Abschnitt 20.2.
- heiße Gase
- adiabatische Kompression eines Gases zB in der Stoßwelle einer Explosion
  Durch (fast) adiabatische Kompression kann ein Gasvolumen so stark erhitzt werden, dass die Temperatur zur Zündung eines brennbaren Dampf-Luft-Gemisches ausreicht *(siehe Abschnitt 13.3)*. Die Temperaturerhöhung hängt vom Druckverhältnis und nicht von der Druckdifferenz ab.
- selbstentzündliche Stoffe, die sich erhitzen oder entzünden oder entzündet haben
- Katalysatoroberfläche, zB Platinschwamm, Raney-Nickel
- starke Lichtstrahlung, Sonne (Sonnenlicht kann zB Chlorknallgas zünden)
  Es ist schon vorgekommen, dass ein Korkring durch den darauf stehenden mit Flüssigkeit gefüllten Rundkolben, der für Sonnenstrahlung **als Sammellinse** wirkt, entzündet wurde.
  In einem anderen Fall wurde durch einen gefüllten Stehrundkolben in eine Buchenholztischplatte eine 7 cm lange Linie eingebrannt. Papier, brennbare Stoffe oder Dämpfe in der unmittelbaren Nähe hätten dadurch unschwer gezündet werden können.
  In einem physikalischen Labor hat die durch Kunststoffkugeln fallende Sonne den Karton, auf dem sie lagen, entzündet. Dies geschah in einem Glasschrank, in dem der Schwelbrand – zufällig – infolge Sauerstoffmangels erlosch.
- Laser – seine hohe Energiedichte ermöglicht eine starke Zündwirkung.
  Laser mit einer Leistung ab 0,5 W jedenfalls als zündfähig.
- sonstige energiereiche elektromagnetische Strahlung (zB bestimmte HF-Generatoren)
  Nach heutigem Stand des Wissens lassen Strahlungserzeuger mit einer Leistung (Senderleistung) bis zu 35 mW jedenfalls keine Zündgefahr befürchten; das gleiche gilt für eine Bestrahlung mit einer einwirkenden Leistung bis zu 5 mW/mm².
  Im Allgemeinen kann elektromagnetische Strahlung mit ausreichender Energie eine Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre direkt durch Energieabsorption im entzündbaren Gas-Luft-Gemisch oder vermittelt über die Energieabsorption (Erhitzung) von Staubpartikeln bewirken.
- ionisierende Strahlung
- Ultraschall – durch die (lokale) Erhitzung infolge der Beschallung
- Auch eine batteriebetriebene Uhr kam als wahrscheinlicher Auslöser einer Explosion im Labor schon vor.

20.2 Heiße Oberflächen – Zündtemperatur

Als Zündquelle kann auch eine **heiße Oberfläche** wirken, wenn sie die **Zündtemperatur** der explosionsfähigen Atmosphäre erreicht. Die Zündtemperatur wird auch als „Selbstentzündungstemperatur" oder „Zündpunkt" *[ignition temperature]* bezeichnet.

Die Zündtemperatur ist die (niedrigste) Temperatur, bei der das zündwilligste Dampf-Luft-Gemisch – ohne Zutun einer Flamme oder sonstigen Zündquelle – **allein durch die erreichte Temperatur gezündet wird.**

Die empirischen Werte hängen stark von den Messbedingungen ab (Größe, konkave oder konvexe Form, Ausrichtung und Material der heißen Fläche, Konzentrationsgradient an der Oberfläche, etc); sie sind nur grobe Richtwerte.

Zur Zündung führende heiße Oberflächen können im Labor beispielsweise sein:

- elektrische Heizplatte,
- elektrische Heizhaube (vgl Abschnitt 16.2.3),
- Oberfläche einer Glühbirne (vgl Abbildung – der Glaskolben einer 75 W-Birne erreicht bis zu ~205 °C), die Quarzkolben von Halogenlampen erreichen noch wesentlich höhere Temperaturen,

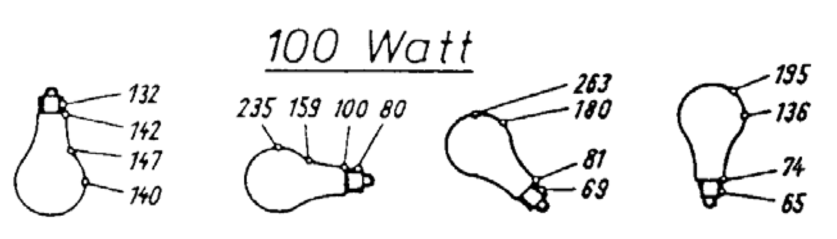


Abbildung: Typische Temperaturen [° C] an einer 100 W-Glühbirne abhängig von deren Position

- trockengelaufenes Wasserbad, Heizelement,
- Sandbad,
- automatische Abtaueinrichtung oder Lampenoberfläche im Kühlschrank
- Föhn, Heißluftgebläse,
- Trockenschrank,
- Brutschrank,
- mechanische Bremse (gegebenenfalls in Zentrifuge),
- heiß gewordener „Wackelkontakt" im Stecker, Schalter, Anschlussklemme (vgl Abschnitt 23.4),
- usw, usw ...
- (Kaffeemaschine — doch diese hat im Labor nichts zu suchen)

Die Stoffdaten (Zündtemperatur) von Schwefelkohlenstoff zeigen, dass eine CS_2-Luft-Mischung unter Umständen schon an einer Heißdampfleitung zur Explosion gebracht werden kann.

Beispiele für Zündtemperaturen zeigt die folgende Tabelle:

Beispiele für Zündtemperaturen	
	Zündtemperatur [°C]
Schwefelkohlenstoff	95
Acetaldehyd	140
Dimetylamin	165
Diethylether	170
Trimethylamin	190
Benzaldehyd	190
n-Nonan, n-Decan	205
Heptan, n-Octan	210
Dimethylether	230
n-Hexan	240
THF	260
Schwefelwasserstoff	270
Petrolether	280

20.3 Innenraum von Kühlschränken

Nach W. SCHRAMM (1987), der etwa 350 Laborbrände und -explosionen analysierte, sind Verpuffungen und **Explosionen in Kühlschränken** *auffallend häufige Brandursachen in Laboratorien* und *„deuten auf eine geradezu labortypische Gefahrenquelle hin“.* — Und dies, obwohl die Gefahr ohne großen Aufwand beseitigt werden kann.

In gewöhnlichen Haushaltskühlschränken und -kühltruhen können folgende **Zündquellen** vorhanden sein:

- **Schaltfunken der Thermostatregelung**
  Die meisten Kühlschrankexplosionen ereigneten sich *nicht* beim Öffnen der Tür, also offenbar *nicht* durch einen Funken des Türschalters, sondern durch den Thermostatfunken.
- **Schaltfunken des Türschalters für die Beleuchtung,**
- die **Heizung der Abtauautomatik** (Heizstab etc),
- die **heiße Oberfläche der Glühbirne.**

Eine explosionsfähige Atmosphäre kann im Kühlschrank entstehen,

- wenn durch Umkippen, Umstoßen oder Bruch des Gefäßes (wegen Platzmangels, Aufstellens eines Rundkolbens auf zu kleinem Korkring, Anlehnens an die Innenwand, ...) brennbare Flüssigkeit ausfließt,
- wenn durch Überdruck, Erschütterungen etc der Gefäßverschluss herausgedrückt wird, der Verschluss (Kunststoff-Schliffstoppel) in der Kälte stark schrumpfte oder das Gefäß unverschlossen (zB mit Alufolie „verschlossen“) in den Kühlschrank gestellt wurde,
- wenn der Kühlschrank versagt und den Inhalt nicht mehr kühlt oder sogar erwärmt. *Überlegen Sie:* Wo muss der Flammpunkt liegen, damit eine explosionsfähige Atmosphäre dann auftreten kann, wenn die Kühlung funktioniert ?

In einem (sonst leeren!) tischhohen Kühlschrank mit 120 ℓ Innenvolumen **genügen** zum Beispiel etwa

	9	**mℓ Diethylether**	(Flammpunkt: – 40 °C)
oder	**2,7**	**mℓ Schwefelkohlenstoff**	(Flammpunkt: – 30 °C)
oder	**10**	**mℓ Aceton**	(Flammpunkt: – 19 °C)
oder	**11**	**mℓ Ethanol**	(Flammpunkt: +12 °C)

als Flüssigkeiten, um den **Innenraum bei deren Verdampfen mit explosionsfähiger Atmosphäre zu füllen !**

Bei hinreichend niedrigem Flammpunkt (Diethylether ...) ist dies auch in Tiefkühlschränken möglicht !

In Innenräumen von Kühlschränken (-truhen), in denen sich eine explosionsfähige Atmosphäre entwickeln kann, dürfen keine Zündquellen vorhanden sein.

➔ Keine Flüssigkeit mit Flammpunkt unter etwa 40 °C in einen nicht umgerüsteten Kühlschrank einbringen.

Haushaltskühlgeräte sind umzurüsten:

- Leuchten und Lichtschalter abklemmen
- Die Temperaturregelung muss explosionssicher erfolgen, zB indem der Thermostat **einen Niederspannungs-Kreis schaltet**, der keinen zündfähigen Funken ermöglicht (die Energie dieser Schaltfunken liegt unter der sog. Mindestzündenergie).
  Außerhalb des gefährdeten Kühlschrankinnenraumes steuert die Niederspannung über eine geeignete Schaltung den mit 230 V laufenden Kühlschrankkompressor.
- **Abtauautomatik** (die als Heizung arbeitet) **außer Betrieb setzen** und außen abklemmen; die Wanddurchführung für die abgetaute Flüssigkeit ist mit Silicondichtungsmasse etc zu verschließen, damit explosionsfähiges Gasgemisch nicht nach außen (zB zum Kompressormotor) gelangen und dort gezündet werden kann. Die abgetaute Flüssigkeit muss daher in ein Auffanggefäß im Innenraum umgeleitet werden.
- Kennzeichnen mit der **Aufschrift** „Nur Innenraum frei von Zündquellen“.
  Noch nicht umgerüstete Geräte sind als nicht explosionsgeschützt zu kennzeichnen.

Es gibt Kühlschränke mit explosionsgeschütztem Innenraum auch serienmäßig im Fachhandel, diese sind allerdings relativ teuer.

Weitere „Kühlschrankgefahren“:

Der Nutzraum der üblichen Kühlschränke in Tischhöhe ist verhältnismäßig schlecht einzusehen, zu überblicken und zu kontrollieren, außer man bückt sich tief.

Daher besteht die Gefahr, dass Gefäße mit gefährlichem Inhalt unsachgemäß eingebracht und abgestellt werden. Auch die Entnahme von Gefäßen aus solchen Kühlschränken erfordert Umsicht.

Beispielsweise forderte folgender Kühlschrankunfall an der Univ. Regensburg (1985) 19 Verletzte: Beim Öffnen der Kühlschranktür fiel ein Fläschchen mit Diphenylphosphin heraus und zerbrach auf dem Fußboden. Die Substanz entzündete sich sofort, und es bildeten sich giftige Dämpfe und Verbrennungsprodukte.

Sicherheitsmaßnahmen beim Einstellen von chemischen Stoffen:

- **Eingestellte Gefäße müssen zuverlässig verschlossen sein:**
  - Schliffgefäße müssen mit Schliffstopfen aus Glas verschlossen sein (Kunststoffstopfen können va bei tiefen Temperaturen so stark schrumpfen, dass sie nicht dicht schließen)
  - Der Schliffstopfen muss gesichert sein (Schliffsicherungsklammer)
  - Zudecken mit Alufolie oder Parafilm ist kein zuverlässiger Verschluss
- Ein Rundkolben wird (zuverlässig verschlossen) am Besten **in ein passendes Becherglas gestellt**. Dadurch ist er gegen Umfallen gesichert, braucht in der Breite weniger Platz als mit einem geeignet großen (!) Kolbenring und benötigt auch in Höhe weniger Platz, was oft die Voraussetzung darstellt, ihn auf sichere Weise in ein niedriges Kühlschrankfach zu stellen.
- Beim Einstellen im Becherglas kann in dieses ein **Zettel** mit BenutzerInnen-Name, Kolbeninhalt und Datum gegeben werden, sofern der Kolben nicht wegen längerer Aufbewahrung etikettiert werden muss.
- Im Tiefkühlschrank kann ein Rundkolben außen vereisen. Er bleibt dann nicht mehr aufrecht in einem Korkring stehen, sondern kann auf Grund von Erschütterungen etc leicht in eine Schräglage rutschen. Auf < 0 °C gekühlte Rundkolben nicht auf Korkringe stellen !

20.4 Elektrostatischer Entladungsfunken

Strömt eine aufladbare (dh nicht leitfähige) Flüssigkeit (Leitfähigkeit < 10^{-8} Siemens/m; 1 S ≙ 1 Ω^{-1}) oder ein staubhaltiges Gas längs einer festen Wand oder längs der Oberfläche einer anderen Flüssigkeit, so kann an der Grenzfläche **Ladungstrennung** erfolgen. Die Ladung eines Vorzeichens verbleibt auf der Wand (oder fließt von dieser zur Erde ab), die Ladung des anderen Vorzeichens wird mit dem strömenden, nichtleitfähigen Medium weitertransportiert. Die Aufladung nimmt mit Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit stark zu. Beim Aufreißen der Flüssigkeit durch Verspritzen ist mit zusätzlicher Aufladung zu rechnen.

Die nichtleitfähige, aufgeladene Flüssigkeit kann ihre Ladung auch in einem leitfähigen und geerdeten Behälter nur *sehr langsam,* nämlich nach Maßgabe ihrer eigenen sehr geringen *Leitfähigkeit,* abgeben, sofern keine Ladungen nachströmen.

Durch die **elektrostatische Aufladung** kann eine beträchtliche elektrische Spannung entstehen (Feldstärke bis einige hundert kV/m), die sich in Form von **zündfähigen Funken** entladen kann. Dieser Funke kann ein explosionsfähiges Dampf-Luft-Gemisch zur Explosion bringen. Die Gefahr besteht beim Umfüllen von aufladbaren Flüssigkeiten ab dem **Litermaßstab** (ab ≤ etwa 5 ℓ).

Eine Explosion ist dann zu befürchten, wenn eine **gefahrdrohende Menge** (siehe oben Abschnitt 19.4) an Dampf-Luft-Mischung entstehen kann.

Zündfähige Entladungen können auch durch **aufgeladene Personen** (Gehen auf isolierenden Schuhsohlen oder auf isolierendem Fußboden, zB auf bestimmten Kunststoffteppichen) oder durch das Ausziehen von Kleidungsstücken (Kunststofffaser)

eintreten. Es wurde gezeigt, dass eine „Entladung“ solcherart aufgeladener Personen Lösungsmitteldämpfe im Labor entzünden kann.

Mit elektrostatischen Aufladungen ist zum Beispiel **bei den folgenden Stoffen zu rechnen, wenn ausreichende Mengen** (Litermaßstab) **umgeleert werden:**

- Diethylether, Dipropylether sowie andere niedrige Ether, Tetrahydrofuran (THF)
- Schwefelkohlenstoff
  Ein Strahl von Schwefelkohlenstoff lädt sich im freien Fall von etwa 2 m Höhe elektrostatisch auf und kann sich dadurch augenblicklich entzünden.
- Toluol
- Benzin und aliphatische KW (Pentan, Hexan, Octan; Methan, Ethan, ...)
  Auch Motorbenzin! Eine Untersuchung von 150 Bränden an Selbstbedienungstrankstellen, die offenbar durch elektrostatische Entladung ausgelöst wurden, hat folgende Empfehlungen ergeben: Während des Tankens soll keine Person aus dem Kfz aussteigen oder in dieses einsteigen, denn die Reibung der Kleidung an den Kfz-Sitzen verursacht eine elektrostatische Aufladung, deren Entladung den Zündfunken erzeugen kann. Vor dem Tanken die Kfz-Türe schließen; durch die Berührung von Metall (Türgriff, Karosserieteile) wird die statische Elektrizität entladen. Ein Mobiltelefon soll während des Füllvorgangs nicht verwendet werden!
- Cyclohexan
- Diethylketon und einige andere Ketone
- Acetaldehyd,   Chlormethan
- Ethylacetat
- und weitere

Gefährlich aufladbare Flüssigkeiten sind am S-Satz **S 33 „Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen“** zu erkennen.

Schutzmaßnahmen:

- **Langsam und nicht in freiem Fall ausgießen, der Flüssigkeitsstrahl soll nicht zerreißen.**
- **Der Trichter** soll daher **bis an den Gefäßboden** reichen.
- **Nur Gefäße, Trichter, Schläuche usw kombinieren, die** entweder alle **nichtleitfähig,** oder aber alle **leitfähig** sind.
  Zum Beispiel: Kein Metalltrichter auf ein Glasgefäß!
- Aufladbare brennbare Flüssigkeiten **nicht in Kunststoffbehälter mit mehr als 5 ℓ Volumen füllen.**

Wenn **leitfähige** Gefäße, Trichter, Schläuche usw verwendet werden, müssen diese **miteinander elektrisch leitfähig verbunden und geerdet werden.**

Einige Kennzahlen zur Brand- und Explosionsgefährdung

Name	Dichteverhältnis zu Luft	Siedepunkt in °C	Flammpunkt in °C	Gefahrenklasse	Explosionsbereich in % V/V	Zündtemperatur in °C
Aliphatische Kohlenwasserstoffe						
Methan	0,55	—161	Gas		4,4 —15	595
Ethan	1,04	— 89	Gas		2,7 —15,5	515
Propan	1,56	— 42	Gas		1,7 — 9,5	470
n-Butan	2,05	— 1	Gas		1,5 — 8,5	365
i-Butan	2,05	— 12	Gas		1,3 — 8,5	460
n-Pentan	2,49	36	—40	AI	1,4 — 7,8	285
n-Hexan	2,79	69	—22	AI	1,2 — 7,4	240
Hexan, Isomere	2,97	50···63	-45···-29	AI	1 — 7,4	260
n-Heptan	3,46	98	— 4	AI	1,1 — 6,7	215
Heptan, Isomere	3,46	79- 93	<— 4	AI	1 — 7	220
n-Octan	3,94	126	12	AI	0,8 — 6,5	210
i-Octan	3,94	99	—12	AI	1 — 6	410
Cyclohexan	2,90	81	—18	AI	1,2 — 8,3	260
Ethylen	0,97	—104	Gas		2,3 — 34	425
Acetylen	0,90		Gas		1,5 — 82	305
Aromatische Kohlenwasserstoffe						
Benzol	2,70	80	—11	AI	1,2— 8	555
Toluol	3,18	111	6	AI	1,2— 7	535
o-Xylol	3,66	144	30	AII	1 — 7,6	465
m-Xylol	3,66	139	25	AII	1,1— 7	525
p-Xylol	3,66	138	25	AII	1,1— 7	525
Ethylbenzol	3,66	136	15	AI	1 — 7,8	430
Styrol	3,59	145	32	AII	1,1— 8	490
Alkohole						
Methanol	1,10	65	11	BI	5,5—26,5	455
Ethanol	1,59	78	12	BI	3,5—15	425
i-Propanol	2,07	82	12	BI	2 —12	425
i-Butanol	2,55	108	27	AII	1,7—	430
1-Methoxypropanol 2	3,11	120	32	AII	1,7—11,5	270
Phenol	3,24	182	79			605
Ether						
Diethylether	2,55	34	—40	AI	1,7···48	170 !
Dimethylether	1,59	—25	Gas		2,7···32	235
Diisopropylether	3,53	69	—22	AI	1 ···21	405
tert–Butylmethylether		55	—28	AI	1,7··· 8,4	460
Dioxan	3,03	101	11	BI	1,9···23	375

Name	Dichteverhältnis zu Luft	Siedepunkt in °C	Flammpunkt in °C	Gefahrenklasse	Explosionsbereich in % V/V	Zündtemperatur in °C
Ketone						
Aceton	2,00	56	—19	BI	2,5—13	540
Methylethylketon	2,48	80	— 1	AI	1,8—11,5	505
Methylisobutylketon	3,46	116	14	AI	1,2— 8	475
Cyclohexanon	3,38	156	43	AII	1,3— 9,4	430
Ester						
Ethylacetat	3,04	77	— 4	AI	2,1—11,5	430
n-Butylacetat	4,01	127	22	AII	1,2— 7,5	360
Ethylglykolacetat	4,72	156	51	AII	1,7—15,7	380
Chlorkohlenwasserstoffe						
Methylenchlorid	2,93	40	—	—	13 —22	605
Trichlorethylen	4,53	87	—	—	7,9—90	410
weitere Stoffe						
Wasserstoff	0,07	—253	Gas		4 — 75,6	560
Kohlenmonoxid	0,97	—191	Gas		11 — 74	605
Schwefelkohlenstoff	2,64	46	—30	AI	1 — 60	~~102~~ 95 !
Formaldehyd	1,03	— 19	Gas		7 — 73	300
Ammoniak	0,59	— 33	Gas		15 — 28	630
Ethylenoxid	1,52	11	Gas		3 —100	440
Essigsäure	2,07	118	40	BII	4 — 17	485
Tetrahydrofuran	2,49	64	—17	BI	1,5— 12	260
"Petrolether" (=KW)		50···75	—56	AI	1,3··· 7,5	280
1,3–Butadien	1,87	—4	—11		1,1···16	415
Schwefelwasserstoff	1,19	—60	Gas		4,3···46	270
Benzaldehyd	3,66	179	64	AIII	1,4···	190 !
Pyridin		115	17	BI	1,7···11	550
Amine						
Methylamin		—6		BI	4,9···21	430
Dimethylamin		7	—20	BI	2,8···14	167 !
Trimethylamin		2	—33	BI	2 ···12	190 !
Ethylamin		17	—41	BI	2,7···16	335
Diethylamin		56	—25	BI	1,7···10	310
Triethylamin		89	—17	BI	1,2··· 8	215

21 Brandbekämpfung im Laboratorium

Siehe auch Abschnitt 6.6 in SICHER ARBEITEN.

Der Brandschutz ist im Arbeitsschutz und in der Sicherheitstechnik im chemischen Labor nur ein kleiner, aber *wichtiger* Teil. Häufig wird – von wenig Informierten – so getan, als sei der Brandschutz das einzige Thema, wenn es um Sicherheit und Gesundheitsschutz beim chemischen Arbeiten geht.

21.1 Begriffe und einige Verhaltensregeln

Brandschutz und Brandbekämpfung ist das Teilgebiet der Sicherheitstechnik mit der längsten, etwa 2000 Jahre zurück reichenden, Tradition. Durch das Feuerwehrwesen hat sich eine einschlägige Begriffssystematik etabliert, die nachfolgend stichwortartig dargestellt und durch *wichtige* **Verhaltensregeln** ergänzt wird.

21.1.1 Vorbeugender Brandschutz

Dieser umfasst alle **baulichen Maßnahmen** und alle **betrieblich-organisatorischen Maßnahmen,** die bereits vor Brandausbruch getroffen werden. Die **erste Löschhilfe** durch die Anwesenden zählt aus praktischen Gründen ebenfalls zum vorbeugenden Brandschutz.

21.1.1.1 Vorbeugender baulicher Brandschutz

Themen des vorbeugenden baulichen Brandschutzes sind zum Beispiel:

Bauweise; Gebäudegröße; **Brandwiderstand** der Wände, Decken und Türen sowie der *Abschottung* von *Wand- und Deckendurchlässen, zB Kabelkanäle***,** Abflussrinnen, Lüftungen, Abzugsschacht etc (Brandwiderstands- bzw. **Brandschutzklassen geben den Schutz in Minuten an,** zB 30, 60, 90 ...).

Die Brandwiderstandsdauer von 30 Minuten wird in der Regel mit dem Begriff „brandhemmend" ausgedrückt; der Brandwiderstandsdauer von 60 Minuten entspricht der Begriff „hochbrandhemmend"; 90 Minuten: „brandbeständig"; 120 Minuten: „hochbrandbeständig". Die Begriffe „brennbar" und „nicht brennbar" haben mit Brandwiderstandsdauer und Brandschutzklassen nichts zu tun.

*Ausführung von **Brandabschnitten**,* begrenzt durch Brandschutztüren: Brandabschnitte verhindern die Ausbreitung des Brandes, vor allem aber des Brandrauches (Erstickungsgefahr, Sichtverlust !)

Brandschutztüren dürfen niemals durch Keile, Anbinden oder ähnliches offen gehalten werden !

Die an den chemischen Instituten neu eingebauten Brandabschnittstüren sind in der geöffneten Stellung durch einen Magneten festgehalten, der beim Ansprechen des Rauchsensors im Schließmechanismus den Schließvorgang auslöst. Zum Schutz des Mechanismus soll die Türe mittels des Tasters an der Wand und nicht durch Zuziehen geschlossen werden. Brandschutztüren ohne Rauchwächter müssen immer geschlossen gehalten werden.

Fluchtwege und -stiegen; Brandrauchentlüftungen (zB an der höchsten Stelle des Stiegenhauses); Feuerwehrzufahrt; Löschwassersteigleitungen, Wandhydranten, Sprinkleranlagen; Brandlast der Möblierung (ungünstig: viel Kunststoff im Labor), ...

21.1.1.2 Organisatorische Maßnahmen des Vorbeugenden Brandschutzes

Die organisatorischen Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes umfassen:

- die **Brandverhütung** (= alle Maßnahmen und Verhaltensregeln, die dazu dienen, die Entstehung eines Brandes zu verhindern)
  Zum Beispiel: Alle schon erwähnten Maßnahmen und Hilfsmittel bei der Laborarbeit, die die Entstehung oder Ausbreitung eines Brandes oder eine Explosion verhindern sollen, zB sichere Apparaturen, Arbeitsweise, Wärmequellen, Mengenbeschränkung für brennbare Flüssigkeiten im Labor (Verringerung der Brandlast); Lagervorschriften; ordnungsgemäße Abzüge; fehlerfreie elektrische Anlagen und Geräte, Kontrollen durch den Sicherheits- und Brandschutzbeauftragten; Freihalten von Verkehrs- und Fluchtwegen sowie von Notausgängen usw

- die **Alarmierung** der Feuerwehr – Telefon mit Wahlmöglichkeit für „122“
  Die Notrufnummern sollen bei jedem Telefon ersichtlich sein, von dem aus man den Notruf tätigen kann.

- die rasche und gezielte **Räumung** im Brandfall (= alle Maßnahmen, die dazu dienen, die Anwesenden unverzüglich zu alarmieren und über freigehaltene und gegen Brandrauch geschützte Wege in Sicherheit zu bringen)
  Zum Beispiel: Kenntnis über die Art der Alarmierung, Räumungsübungen ...

  Beim Verlassen des Gebäudes dürfen Aufzüge nicht benützt werden !

  Aufzugstüren sind nicht rauchdicht. Bleibt die Aufzugskabine infolge Stromausfalls stehen und gelangt Brandrauch in den Aufzugsschacht, besteht unmittelbare Erstickungsgefahr.

  Geräumt werden müssen das Stockwerk (jener Brandabschnitt), in dem es brennt, sowie allenfalls höher gelegene Stockwerke, in der Regel jedoch nicht die darunter liegenden.

- die wirksame und richtige Brandbekämpfung im Rahmen der **Ersten Löschhilfe**
  Zum Beispiel: Aufstellung von Handfeuerlöschern und sonstigen Löschmitteln, deutlich sichtbare Kennzeichnungen; Kenntnisse über richtige Auswahl und Einsatz der Löschmittel; Löschübungen; Bereithalten der Unterlagen (Brandschutzplan) für die Feuerwehr ...

  Feuerlöscher und andere Hilfsmittel zur Brandbekämpfung müssen immer freigehalten werden und gut sichtbar sein !

21.1.2 Abwehrender Brandschutz

Dies sind alle Maßnahmen, mit denen geschulte Helfer einen bereits ausgebrochenen Brand bekämpfen.

21.1.2.1 Betriebliche Maßnahmen des abwehrenden Brandschutzes

Zum Beispiel: Erwarten und Einweisen der Feuerwehr, Übergabe von Brandschutzplänen (das sind Stockwerks-Grundrisse mit eingetragenen Brandwiderständen von Türen etc, besonderen Gefahren – zB *Druckgasflaschen, radioaktive Stoffe, Lösungsmittellager* – und Löschmitteln); Übergabe von Schlüsseln; Betätigen von Brandrauchentlüftungseinrichtungen; Feuerwehr über vermisste Personen informieren!

21.1.2.2 Öffentliche Maßnahmen des abwehrenden Brandschutzes

Darunter versteht man das Vorhandensein und das Tätigwerden einer Feuerwehr.

21.2 Reihenfolge: Alarmieren → Retten → Löschen

Tausendfache Erfahrung zeigt, dass bei Brandausbruch stets in dieser Reihenfolge vorgegangen werden muss – bei Anwesenheit mehrerer Personen sollen die Schritte gleichzeitig gesetzt werden:

1. Alarmieren = Meldung an die Feuerwehr:

Meldung auch bei Brandverdacht !

- **Wo** brennt es ?
- **Was** brennt ?
- Sind **Personen** gefährdet ?
- Betroffene Personen warnen:
  Räumungsalarm auslösen – *lieber zu früh als zu spät !*

Die Verständigung der Feuerwehr muss der **erste Schritt** sein, weil ein Brand exponentiell zunimmt bzw sich exponentiell ausbreitet.

Falls der Brand *doch nicht* selbst gelöscht werden kann, kann der durch die verspätete Verständigung der Feuerwehr entstehende Schaden enorm ansteigen.
Aufgrund der Dynamik des Brandes ist jede Minute entscheidend!

Die Verständigung der Feuerwehr darf nur unterbleiben, wenn ein Entstehungsbrand mit Sicherheit gleich selbst gelöscht werden kann (brennender Papierzettel, Aschenbecher etc).
Den Brand einer kleinen Substanzmenge in einem Gefäß erstickt man durch Abdecken (Holzplatte, Porzellanschale, Schreibheft ...)

2. Retten

- Gefährdete Personen **warnen**, ev Räumung von Nebenräumen veranlassen
- Verletzte aus dem Gefahrenbereich bringen
- Erste Hilfe leisten
- Sich selbst nicht gefährden !

3. Löschen

- Handfeuerlöscher (Betriebsanweisung am Löscher), Speziallöschmittel (zB Sand für Metallbrand), etc einsetzen
- Verqualmung von Fluchtwegen, Gängen, Stiegen etc vermeiden; daher die Türen zu dem vom Brand betroffenen Raum schließen, allenfalls Gangfenster öffnen.
  Die Fenster im brennenden Raum sollen geschlossen sein, um die Sauerstoffzufuhr zu vermindern.
- Feuerwehr einweisen und ihr detaillierte Informationen geben – das ist bei Laboratorien besonders wichtig
- Sich selbst nicht gefährden !

21.3 Allgemeine Gefahren eines Brandes

Ersticken (Brandrauch)

Der größte Teil der Brandopfer kommt nicht durch Verbrennen, sondern durch die Vergiftung durch Brandgase (vor allem CO) ums Leben. Die Gründe dafür sind in der Regel verqualmte Fluchtwege sowie zu späte Warnung bzw. Flucht. In größeren Gebäuden gibt es sog „Selbstrettungsmasken" bzw „Fluchthauben", die an den Mund gepresst werden und für die Dauer der Flucht (wenige Minuten) den benötigten Sauerstoff chemisch freisetzen. Bei Verqualmung am Boden kriechen!

Panik ist eine Gefahr, durch die im Durchschnitt gleichfalls wesentlich mehr Menschen zu Schaden kommen als durch die Flammen. Gegen Panik hilft Informiert-Sein und das vorherige Durchdenken möglicher Gefahrensituationen und Üben der zu setzenden Verhaltensweisen.

Selbstentzündung durch Erhitzen

Papier beginnt bereits dann von selbst zu brennen, wenn es einige Zeit auf 180 °C erhitzt worden ist. Dies kann zB geschehen, wenn sich Papier zu nahe bei einer Heizplatte oder einer anderen Wärmequelle (Glühlampe...) befindet. Für **Holz** beträgt die Selbstentzündungstemperatur etwa 280 °C. Die Entzündungstemperaturen von bereits angekohlten (dh teilweise pyrolysierten) Materialien liegen noch tiefer.

Die Flammentemperatur selbst von brennendem Papier liegt über 1000 °C, sodass mit Andauern und Ausbreitung eines Brandes eine rasche – sich beschleunigende – Aufheizung des Raumes verbunden ist.

Schlagartige Brandausbreitung

Ein von einem Brand betroffener Raum heizt sich ziemlich rasch auf. Bei einer Temperatur von 300 bis 500 °C ist die Zündtemperatur von praktisch allen brennbaren Gegenständen in Raum erreicht. Wenn nun eine Fensterscheibe platzt oder die Tür geöffnet wird (nur in gebückter Stellung und aus geschützter Position !), kann Sauerstoff hinzutreten und alle brennbaren Gegenstände beginnen *gleichzeitig und schlagartig zu* brennen („flash over"). Die schon ausgegasten brennbaren Pyrolyseprodukte, die mangels Sauerstoff noch nicht verbrannten, können dabei eine mächtige Stichflamme auslösen.

21.4 Löschmittel und ihre Einsatzbereiche

Ein universelles Löschmittel für alle Brände gibt es nicht.

Man unterscheidet die Brandklassen A, B, C und D. Handfeuerlöscher sind mit folgenden einheitlichen Symbolen bezeichnet:



A:
Brände fester Stoffe, die unter **Glutbildung** verbrennen, zB Holz, Textilen, Papier, Kohle, Gummi, ...



B:
Brände von **flüssigen oder flüssig werdenden** Stoffen, zB Benzin, Alkohole, Aceton, Toluol, Öle, Fette, Stearin, schmelzende Kunststoffe ...



C:
Brände von **Gasen,** zB Methan, Flüssiggas, H_2S, H_2, Acetylen ...



D:
Brände von **Metallen,** zB Mg, Al, Na, K, Li, ... (siehe Abschnitt 18.9)

Einsatzbereiche und kurze Bedienungshinweise sind auch auf dem Handfeuerlöscher angeschrieben.

Tabelle: Eignung der Löschmittel für die Brandklassen

Löschmittel	Kennbuchstabe	**Geeignet für Brandklasse**				**Eignung für elektrische Anlagen**
		A	**B**	**C**	**D**	
Nasslöscher (mit **Wasser**)	N W [1])	**ja**	—	—	—	ja bis 500 V mit Mindestabstand ~ 1 m
Schaum-Löscher	S [2])	**ja**	**ja**	—	—	Nein !
CO_2-Löscher	K	—	**ja [3])**	**ja [4])**	—	ja, Mindestabstand 1 m
Pulverlöscher mit **ABC-Pulver**	PG [5]) UP [6])	**ja**	**ja**	**ja**	—	ja bis 1000 V, mind. 1 m Abstand [7])
Pulverlöscher mit **BC-Pulver**	P	—	**ja**	**ja**	—	ja, Mindestabstand 1 m bei 1000 V [7])
Löscher mit Metallbrandpulver [8])	PM [8])	—	—	—	**ja [8])**	ja bis 1000 V, mind. 1 m Abstand

— = nicht geeignet
unterlegt = im Laboratorium besonders wichtig

[1]) Auch die Bezeichnung W ist gebräuchlich.
[2]) Zusätzliche Symbole wie zB: f = frostbeständig;
LW = Light Water bedeutet, dass der Schaum auf Wasser schwimmt.
[3]) Für Brandklasse B ist die Ausführung mit Schneerohr besonders gut geeignet.
[4]) Für Brandklasse C ist die Ausführung mit Gasdüse besonders gut geeignet.
[5]) PG bedeutet Glutbrandpulver.
[6]) Die Bezeichnung UP steht für Universalpulver und ist in Österreich ebenfalls gebräuchlich.
[7]) Der Pulverlöscher muss ohnehin aus mindestens ~ 3 Metern eingesetzt werden, um wirksam sein zu können.
[8]) PM steht für Metallbrandpulver. – **Im Labor hält man meist trockenen Sand oder trockenes Zementpulver bereit.**

Für die meisten Laborbrände: <u>Kohlendioxidlöscher</u>

Für die meisten Brände in **Laboratorien** werden **CO_2-Löscher ausreichen.** Sie hinterlassen keine Rückstände und Verschmutzungen, schädigen empfindliche Geräte nicht oder nur wenig (durch den CO_2-Kälteschock könnten Leiterplatten etc beschädigt werden) und sind für elektrische Anlagen weitgehend geeignet. In engen und schlecht gelüfteten Räumen dürfen sie nicht verwendet werden (Erstickungsgefahr). In der Atemluft sind Konzentrationen ab etwa 8 $\%^{V}/_{V}$ CO_2 tödlich.

<u>Hinweise zum Einsatz</u>:

Allgemeine Hinweise zu Handfeuerlöschern verschiedenen Typs:

Pulverlöscher, Nasslöscher und Schaumlöscher werden zumeist in drucklosem Zustand bereitgehalten (ständig unter Druck stehende Löscher erkennt man an einem kleinen Manometer). Drucklose Geräte enthalten eine außenliegende und mit <u>Handrad</u> versehene oder eine innenliegende und mit <u>Schlagarmatur</u> versehene CO_2-Druckpatrone. Vor der Verwendung muss das Handrad *ganz* aufgedreht werden (anderenfalls kann sich das Ventil durch gefrierendes CO_2 verlegen), oder die Schlagarmatur muss fest niedergedrückt werden (Körpergewicht einsetzen).

Für das Löschen gilt die Grundregel: **Löschstrahl auf die brennenden Gegenstände richten, nicht auf die Flammen !**

Handfeuerlöscher beim Einsatz etwa senkrecht halten (das Steigrohr beginnt am Boden).

Beim Löschen gilt: Leere Handfeuerlöscher zur Erkennbarkeit für andere HelferInnen auf den Boden legen, nicht stellen. Bei Kleinbrand: (An)Gebrauchte Löscher melden!

Pulverlöscher

Jeder drucklose Pulverlöscher muss vor der Verwendung „aufgeladen" werden, indem das CO_2 aus der Druckpatrone in den drucklosen Löscher einströmt, das Pulver aufwirbelt und „fließfähig" macht. Dieser Vorgang benötigt 3 bis 5 Sekunden.

→ Einen drucklosen Pulverlöscher daher am Besten gleich beim Aufnehmen des Löschers aufladen und nicht erst am Brandort.

Die **Löschwirkung erfolgt durch die Pulverwolke**, nicht durch den Pulverstrahl. Daher muss man einen großen Abstand zum Brandherd (~ 3 Meter oder mehr !) einhalten.

Bei ununterbrochenem Pulverstrahl ist ein 6 kg-Pulverlöscher in etwa 9 Sekunden leer, einer mit 12 kg Pulver in etwa 18 Sekunden. Daher dosiert einsetzen !

Die Pulverwolke bewirkt eine Sichtbehinderung, Hustenreiz sowie zumeist eine Zerstörung elektronischer Geräte (Tastaturen, Kontakte ...).

<u>Die Wirkungsweise der Löschmittel</u>

Wasser bewirkt primär die Kühlung der brennenden festen Stoffe. (Sekundär kann durch den entstehenden Wasserdampf an der Oberfläche des brennenden Stoffes ein Sauerstoffmangel [< 15 $\%^{V}/_{V}$] bewirkt werden – Inertisierung.)

Löschschaum wird durch Verschäumung einer Wasser-Schaumbildner-Lösung (Tenside, Proteinschaumbildner etc + Stabilisatoren + Frostschutzsalze) erzeugt. Der Löschschaum bildet – eine Zeit lang – eine Trennschicht zwischen Flamme und brennbarem Stoff. Diese verlangsamt die weitere Verdampfung (Ausgasung) des brennbaren Stoffes und vermindert den Energietransport (Hitze) von der Flamme zum brennbaren Stoff (Stickeffekt). Das enthaltene Wasser wirkt kühlend und der Dampf inertisierend.

BC-Pulver = **Flammbrandpulver** weist eine sehr kleine Korngröße und eine große spezifische Oberfläche auf. In der Regel wird Natriumhydrogencarbonat verwendet, das mit Stearat hydrophobiert ist. Der Pulverstrahl ist auf die brennende Flüssigkeit bzw auf den Austritt des brennenden Gases zu richten (und nicht in die Flammen!). Die dichte Pulverwolke gelangt dadurch in die Flammen. Die bei der Verbrennung vorhandenen kurzlebigen Radikale geben ihre Energie an die (große) Oberfläche der Pulverteilchen ab. Dadurch kommt es zu einem sehr wirksamen und raschen Abbruch der Kettenreaktion, und die Flamme erlischt. Es handelt sich um einen „antikatalytischen Effekt" in heterogener Phase. Das Löschmittel wirkt als Radikalfänger. Da durch das Pulver keine Kühlung erfolgt, kann ev eine Rückzündung an heißen Metallteilen erfolgen. – Daher Pulverreserve bereithalten!

ABC-Pulver = **Glutbrandpulver** beruhen gleichfalls auf einem heterogenen antikatalytischen Effekt. Um auch den Glutbrand löschen zu können, bilden ABC-Pulver auf der Glutoberfläche außerdem eine flammenhemmende Glasurschicht. Dies geschieht durch Phosphatpulver, bestehend häufig aus Partikeln von Ammoniumphosphat und Ammoniumsulfat, die zum Schutz vor Verklumpen durch Feuchtigkeit silikonisiert sind.

Kohlendioxid bewirkt eine Absenkung der Sauerstoffkonzentration (Inertisierung). Seine Kühlwirkung ist gering; daher ist es für Glutbrände nicht geeignet. Weiters ist es *nicht* für Metallbrände geeignet: Brennendes Metall (Mg, K,...) nimmt sich den Sauerstoff aus dem CO_2 !

Metallbrandpulver findet man in Speziallöschern für die Luftfahrt und Leichtmetall-industrie; es ist oft eine Mischung von Chlorit, Kunststoff, Fließ- und Hydrophobierungs-mitteln. Dieses Löschmittel schmilzt beim Kontakt mit heißen Metallen und bildet eine Schicht, die die weitere Sauerstoffzufuhr unterbindet. – Auch andere Zusammensetzungen sind handelsüblich.

Als leicht zu beschaffende Löschmittel für Metallbrände werden im Labor häufig verwendet: **trockener Sand** und klumpenfreies, dh trocken aufbewahrtes, **Zementpulver**.

21.5 Brennende Personen löschen

- **Panikreaktionen berücksichtigen.** Brennende Menschen neigen häufig zu absoluten Panikreaktionen (zB davonlaufen). In einer solchen Situation ist dem/der Betroffenen ein logisches Überlegen unmöglich und er/sie nimmt Aufforderungen und Argumente nicht wahr.
- Flammen ersticken:
  Die Person am Boden wälzen: Einen panischen Menschen mit brennender Kleidung – auch mit Gewalt – zu Boden reißen (zB zum Stolpern bringen) und am Boden wälzen, um die Flammen zu ersticken.

  Die Löschwirkung mit einer Decke etc unterstützen: Die Flammen – allenfalls zusätzlich – durch Überwerfen eines Arbeitsmantels, einer Jacke oder einer Löschdecke (wenn diese in Griffweite ist) ersticken. Verboten ist das Überwerfen von Kunststofftextilien (Verbrennungen durch Schmelzen). Leichtflüchtige Lösungsmittel können durch die Löschdecke dringen und sich wieder entzünden. Nur asbestfreie Löschdecken dürfen bereitgehalten werden – andere austauschen lassen!

- Und/oder **Löschmittel einsetzen**:
  Notdusche verwenden, wenn diese rasch erreichbar ist. Wasser kann auch aus Gefäßen (Kübel...) eingesetzt werden.

Zum Einsatz von **Handfeuerlöschern** zum Löschen einer Person, deren Kleidung brennt, gibt es unter ExpertInnen – wegen der zum Glück seltenen Gelegenheit für Praxiserfahrungen – unterschiedliche Meinungen. Als Argumente werden vorgebracht:
Die Empfindlichkeit des Gesichts für das mit hoher Energie austretende Löschmittel,
die mögliche Schädigung der Augen durch etwa –70 °C kaltes CO_2,
die augen- und atemwegsreizende Wirkung der Löschpulverwolke.

Eine Zusammenfassung des aktuellen Wissens dazu gibt der im Folgenden wiedergegebene Artikel aus der Zeitschrift der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie (das ist die zuständige gesetzliche Unfallversicherung in der BRD).

Um ein Nasslöschmittel mit weichem (breiten) Strahl aus dem Handfeuerlöscher zu sprühen, lenkt man den an der Düse austretenden Strahl mit dem Daumen etwas ab.
(Quelle: Sichere Chemiearbeit, Dez **2002**, 142.)

Personenbrände sind seltene aber äußerst dramatische Ereignisse, da die Folgen für das Leben und die Gesundheit des Betroffenen besonders schwerwiegend sein können. Aus diesem Grund muss an den Arbeitsplätzen, an denen mit brennbaren Flüssigkeiten und/oder offenen Flammen umgegangen wird, ausreichend Vorsorge für die Erste-Hilfe-Maßnahmen getroffen werden.

Brennende Personen reagieren häufig panisch und können dann keine rationalen Entscheidungen treffen. Um so notwendiger ist es, dass die anwesenden Kollegen beherzt und überlegt handeln. Doch was ist als optimale Erste-Hilfe-Aktion in diesem Fall zu tun?

In einigen Arbeitsbereichen, z.B. Laboratorien, stehen Notduschen zur Verfügung. In den meisten Unternehmen sind dagegen nur Löschdecken und Feuerlöscher verfügbar. Untersuchungen der Feuerwehr haben gezeigt, dass schon das Löschen von brennenden Puppen mit einer Feuerlöschdecke nicht einfach zu bewerkstelligen ist. Liegt die Löschdecke nicht direkt am Körper der Puppe an, wird das Feuer durch einen Kamineffekt weiter entfacht. Bei lebenden Personen stellt sich noch ein weiteres Problem ein. Häufig laufen diese in Panik weg, fachen durch den Luftzug das Feuer noch an und müssen erst "eingefangen" werden. Dabei geht wertvolle Zeit verloren und die Wahrscheinlichkeit schwerster Brandverletzungen steigt.

Als Alternative zur Benutzung einer Löschdecke hat die Feuerwehr deshalb Feuerlöscher getestet. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass das Löschen von Personenbränden mit dem Feuerlöscher immer, unabhängig vom Typ des Feuerlöschers, effektiver ist, als die Benutzung einer Löschdecke!

Folgende Hinweise müssen aber bei der Verwendung eines Feuerlöschers unbedingt beachtet werden:

- Die zu löschende Person ist aufzufordern, Augen und Mund zu schließen.
- Der erste Löschimpuls ist auf Brust und Schulter zu richten, um Hals und Kopf vor den anzündelnden Flammen zu schützen.
- Danach wird der Löschstrahl weiter nach unten und den Seiten geführt.

Wasserlöscher

- Mit weichem Strahl sprühen, anderenfalls mindestens 3 m Abstand halten.
- Vorsicht beim Ablöschen von Gesicht und Wunden mit dem vollen Strahl.

Schaumlöscher

- Mit weichem Schaumstrahl sprühen!
- Mit dem Schaumlöscher wird eine hohe und schonende Löschleistung erreicht.

Pulverlöscher

- Mindestens 2 m Abstand zur zu löschenden Person halten.
- Pulverwolke sollte breiter als 30 cm sein.
- Den Personenbrand mit kurzen, schnell aufeinander folgenden Pulverstößen löschen.
- Eine negative Wirkung des Pulvers beim Eindringen in Wunden ist nicht bekannt. Das Löschpulver muß mit reichlich Wasser abgespült werden, denn es kann zu kurzzeitigen Reizerscheinungen in den Augen, den Schleimhäuten und in Wunden führen. Die Vorteile einer schnellen Brandbekämpfung überwiegen hier die Nachteile, die durch das Löschpulver entstehen können.

Kohlendioxidlöscher

- Wenn kein anderer Löscher vorhanden ist, sind CO_2-Löscher ebenfalls besser geeignet als eine Löschdecke.
- Einen Mindestabstand von 1,5 m unbedingt einhalten.
- Den Strahl nie direkt auf das Gesicht richten, sondern ihn seitlich am Körper vorbei führen.
- Den Sprühstrahl nie auf einer Stelle des Körpers verweilen lassen – Erfrierungsgefahr!
- Der 2 kg CO_2-Löscher reicht häufig nicht aus, um den Brand vollständig zu löschen. Er ermöglicht aber, ihn einzudämmen und der Person zu helfen sich der brennenden Kleidung zu entledigen.

Die besten Ergebnisse konnten mit Schaumlöschern mit Wirbeldüse erzielt werden. Diese Spezialdüse erzeugt einen sehr weichen und breiten Sprühstrahl, mit dem Personenbrände besonders effektiv gelöscht werden können. Beachten Sie grundsätzlich die Gebrauchsanleitung des Feuerlöschers. (Spl)

22 Abzüge und Sicherheitswerkbänke

Informieren Sie sich in der Broschüre SICHER ARBEITEN über folgende Themen:

Arbeiten, die im (funktionierenden!) Abzug durchgeführt werden müssen (zB SICHER ARBEITEN Abschnitte 3.2, 3.4, 3.5 ...; ergänzend dazu die vorliegenden Unterlagen)

Formale Anforderungen an normgemäß gebaute Abzüge (abgeführter Luftvolumenstrom) und die Bedingungen für die optimale Wirkung des Abzugs

Sichere Benützung von Abzügen

Dem **Abzug** *[fume cupboard*; in den USA auch: *laboratory hood]* kommt im Arbeitsschutzkonzept für chemische Labors, in denen ja mit vielen unterschiedlichen und manchmal unbekannten oder bezüglich ihrer Gefahren nicht untersuchten Stoffen gearbeitet wird, eine sehr große Bedeutung zu.

Während in alten Labors 2 bis 3 m Abzugsfront auf 12 bis 15 m reine Tischlänge entfielen, ist das Verhältnis bei neu errichteten Labors umgekehrt: Auf 3 m Arbeitstisch kommen etwa 12 m Abzug. Die dadurch erforderliche große Menge an (zugfrei zugeführter und im Winter vorgewärmter) Raum-Zuluft *[make-up air]* hat zur Entwicklung von Abzügen geführt, die den gleichen Schutzeffekt mit einem geringeren Luftvolumenstrom *[volume flow rate]* erreichen (siehe Abschnitt 22.1).

Abzüge sollen sicherstellen,

1. dass Gase bzw Aerosole aus dem Abzugsinneren nicht ins Labor und nicht zu der/dem davor Arbeitenden gelangen (**Schutz vor Schadstoffen**);

2. dass sich im Abzug keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann (**Explosionsschutz**);

3. dass der/die Arbeitende gegen Spritzer und herumfliegende (Glas)Splitter geschützt ist (**mechanischer Schutz**).

Voraussetzung für jeden Schutz ist, dass der **Frontschieber** *[sash]* heruntergeschoben ist. Voraussetzung für den 1. und 2. Schutzzweck ist zusätzlich, dass der Abzug eingeschaltet und ausreichend leistungsfähig ist.

Der unbemerkte Ausfall des Abzugs während der Arbeit kann somit (brennbare Dämpfe !) eine große Gefährdung bewirken. Wo noch keine automatische Funktionsüberwachung mit Warnsignal besteht, wird daher empfohlen, bei der Absaugöffnung des Abzugs und/oder an der Griffleiste des Frontschiebers ein Stück Wollfaden anzukleben, an dessen Flattern in Strömungsrichtung die Absaugung jederzeit sichtbar ist.

Es dürfen im Abzug nur die unmittelbar für die Arbeit benötigten Stoffe und Geräte aufbewahrt werden. Ein Abzug ist kein Lager !

Die Apparaturen im Abzug sollen die **Strömungsverhältnisse** nur möglichst wenig beeinflussen. Dafür ist entscheidend,

- dass unter den größeren Gegenständen im Abzug (Auffangwanne, Brandschutzwanne [Abschnitt 18.7], Sandbad, etc) mindestens 1 cm freier Raum bleibt,
- dass die Luftansaugöffnungen freigehalten werden und
- dass nur für die laufende Arbeit benötigte Gegenstände im Abzug stehen.

Aus Umweltschutzgründen sollen stark umweltschädigende Abgase (zB F_2, HF, SO_x, HCl, ...) möglichst nicht mit der Abluft des Abzugs freigesetzt werden. Lässt sich die Freisetzung der Schadgase nicht vermeiden (zB durch Anwendung einer anderen chemische Reaktion) oder können diese nicht bereits in der Apparatur weitgehend absorbiert werden (zB durch eine Serie nachgeschalteter Waschflaschen), so sollte die Reaktion möglichst in einem Abzug ausgeführt werden, der mit einem Abluftreinigungssystem (zB Sprühnebel-System) ausgerüstet ist. Solche werden in neuen Labors bereits häufig eingebaut.

22.1 Anforderungen an moderne Abzüge

Für Laborabzüge wurden verschiedene technische Normen (als Regeln der Technik) ausgearbeitet. Heute werden meist nicht mehr bestimmte Luftvolumenströme oder eine Einströmgeschwindigkeiten *[face velocity]* genormt, sondern eine Mindestwirksamkeit des Abzugs (Rückhaltevermögen, *containment*), die in Form einer Baumusterprüfung (Typenprüfung, *type testing*) zu ermitteln ist. Die Fähigkeit eines Abzugs, das Rückhaltevermögen auch bei externen Störungen der Strömungsverhältnisse vor dem Abzug aufrecht zu erhalten, wird als Robustheit *[robustness]* bezeichnet.

Beispiele für heutige technische Normen:
ÖNORM EN 14175-1:2003 08 01 Abzüge – Teil 1: Begriffe
ÖNORM EN 14175-2:2003 07 01 Abzüge – Teil 2: Anforderungen an Sicherheit und Leistungsvermögen
ÖNORM EN 14175-3:2004 03 01 Abzüge – Teil 3: Baumusterprüfverfahren
ÖNORM EN 14175-4:2004 11 01 Abzüge – Teil 4: Vor-Ort Prüfverfahren
EN 14175-5 VORNORM: Abzüge – Teil 5: Empfehlungen für Installation und Wartung
ÖNORM EN 14175-6:2006 07 01 Abzüge – Teil 6: Abzüge mit variablem Luftstrom
DIN 12924-2:2007 04 Laboreinrichtungen – Abzüge – Teil 2: Abrauchabzüge
DIN 12924-3:1993 04 Laboreinrichtungen – Abzüge – Durchreichabzüge – Hauptmaße, Anforderungen und Prüfungen

Beispiel für Typenprüfung:
Im Abzug, in dem ein bestimmter Geräteaufbau zur Störung der Luftströmung steht, wird ein Prüfgas freigesetzt (10 % Schwefelhexafluorid SF_6 in N_2; $3^1/_3$ ℓ/min × m Frontlänge).

25 cm vor dem Abzug wird eine Puppe aufgestellt, die die Störung der Luftströmung durch den/die Arbeitende/n simuliert und an einem Stativgerüst mit 20 Probenehmern 10 cm vor der Frontschieberebene wird die mittlere Konzentration an SF_6 ermittelt.

Diese Konzentration darf
bei geschlossenem Frontschieber 0,2 ppm (= mℓ SF_6/m³),
bei zu einem Drittel geöffnetem Frontschieber 0,5 ppm
und bei ganz offenem Frontschieber 0,8 ppm
nicht überschreiten. Der Frontschieber darf trotzdem nur kurz und nur zum Manipulieren an der Apparatur geöffnet werden !

Im Abzugsinnenraum *[workspace]* dürfen als Mittelwert nicht mehr als 0,2 $\%^v/_v$ SF_6 und an keiner Stelle im Abzug mehr als 0,4 % $^v/_v$ SF_6 auftreten. Diese Werte berücksichtigen die niedrigste bekannte Untere Explosionsgrenze (UEG), die bei 0,6 $\%^v/_v$ liegt.

Die Norm schreibt außerdem eine ständige netzunabhängige Überwachung der Funktion des Abzugs (zB mit Pufferbatterie) vor. Wenn der Abzug ausfällt, muss ein optisches und akustisches Signal *[visual and audible alarm]* warnen. So soll verhindert werden, dass sich unbemerkt zB eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann.

Um den mechanischen Schutz zu gewährleisten, sind die Fensterflächen des Abzuges (einschließlich Frontschieber) aus **Sicherheitsglas**, vorzugsweise Verbundglas, oder aus geeignetem Kunststoff herzustellen.

Am Frontschieber ist die Aufschrift „Frontschieber geschlossen halten“ anzubringen.

22.2 Sicherheitswerkbänke

Nähere Informationen und Abbildungen finden Sie in der Broschüre **BIOLOGISCHE ARBEITSSTOFFE**, vor allem im Kapitel 9.

Für mikrobiologische (auch medizinisch-mikrobiologische), biotechnologische und gentechnische Laborarbeiten werden sog **Sicherheitswerkbänke** *[microbiological safety cabinets]* verwendet, um die/den Arbeitende/n vor schädlichen Einflüssen durch in der Werkbank freigesetzte Schwebstoffe (= Partikel, zumeist Mikroorganismen) zu schützen. (Ein weiterer Zweck kann im Schutz des Arbeitsgutes vor Kontamination liegen, zB steriles Arbeiten.)

Sicherheitswerkbänke sind häufig so installiert, dass die von Partikeln gefilterte Luft an der Oberseite wieder in den Arbeitsraum ausgeblasen wird („Umluftführung“). Werkbänke mit Umluftführung darf man nicht für gesundheitsschädigende oder brennbare Dämpfe verwenden, denn vom Filter werden nur Partikel abgeschieden !

Die Sicherheitswerkbänke werden in die Klassen 1, 2 und 3 eingeteilt:

Werkbänke der Klassen 1 und 2 sehen entfernt ähnlich aus wie übliche Abzüge, Werkbänke der Klasse 3 ähnlich wie geschlossene Handschuhboxen.

Eine **Sicherheitswerkbank Klasse 1** hat eine Sichtscheibe als Frontschieber. Die Front-seite ist bei der Arbeit zu einem (möglichst kleinen) Teil offen, der Frontschieber also weitgehend geschlossen. Die abgesaugte Luft tritt zur Gänze durch die Arbeitsöffnung ein. Die Lufteintrittsgeschwindigkeit durch die Arbeitsöffnung muss (bei erlaubter Öffnungshöhe) an jeder Stelle zumindest 0,7 m/s betragen. Wenn der Frontschieber zu weit geöffnet wird, ertönt ein dauerndes Warnsignal, weil der Schutz dadurch aufgehoben wird.

Die Reinigung der abgesaugten Luft erfolgt wie bei Klasse 2.

Zumeist verwendet werden **Sicherheitswerkbänke der Klasse 2**, da diese (bei richtiger Justierung und Verwendung) sowohl die arbeitende Person vor Kontamination von innen wie auch die Proben und Materialien in der Werkbank vor Kontamination von außen schützen und so steriles Arbeiten ermöglichen.

Eine Sicherheitswerkbank Klasse 2 sieht aus wie eine Werkbank Klasse 1, unterscheidet sich von dieser aber durch die Führung der Luftströmung. In einer Werkbank Klasse 2 läuft eine senkrechte, turbulenzarme („laminare“) Verdrängungsströmung (von Partikeln gereinigte Luft mit 0,4 m/s) von der Decke der Werkbank, durch die sie zugeführt wird, zu ihrem Boden dh zur Arbeitsfläche, an der sie durch Eintrittsgitter an der Vorderkante sowie bei der Rückwand eingesaugt wird. In der Werkbank wird gearbeitet, indem man mit den Händen durch die Arbeitsöffnung (die sich über die gesamte Frontlänge erstreckt und eine vorgegebene Öffnungshöhe von etwa 25 cm hat) greift. Durch die Arbeitsöffnung

tritt von der Seite des Labors Luft mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von zumindest 0,4 m/s ein. Nur (!) dieser Luftvorhang verhindert den Austritt von Stoffen (Mikroorganismen) aus der Werkbank und schützt die Person(en) vor der Werkbank. Dieser Luftvorhang darf daher nicht (zB durch heftige Handbewegungen oder Abdecken der Lufteinsaugöffnungen an der Vorderkante der Arbeitsfläche) behindert werden.

Betreiben Sie wenn möglich keinen Brenner in einer Sicherheitswerkbank Klasse 2. Schon durch die aufsteigende Heißluft einer Zündflamme kann die turbulenzarme Fallströmung zusammenbrechen und den Schutzeffekt aufheben.

Die aus der Werkbank abgesaugte Luft wird über zumindest ein **Hochleistungs-Schwebstoff-Filter** von Partikeln gereinigt. Zusätzlich kann die Reinigung durch ein Bakterienfilter erforderlich sein.

Die Hochleistungs-Schwebstofffilter werden als HEPA- (high efficiency particulate air) und ULPA- (ultra low penetration air) Filter bezeichnet und nach EN 1822 in Leistungsklassen eingeteilt. Die in Sicherheitswerkbänken eingesetzten HEPA-Filter haben einen integralen Abscheidegrad von 99,995 %. Dh von 100 000 Partikeln passieren 5 das Filter. Zusätzliche Anforderung: je m³ gefilterter Luft dürfen max. 3500 Partikel > 0,5 µm das Filter passieren.

Rückhaltevermögen der Sicherheitswerkbank: Durch die Arbeitsöffnung darf bei Klasse 1 und 2 nur ein Anteil von 3×10^{-7} der im Inneren freigesetzten Partikel (zB Mikroorganismen) nach außen gelangen. Das Rückhaltevermögen berücksichtigt alle Freisetzungswege, zB den Ausbruch durch den Luftvorhang, die Abscheidung durch die Hochleistungsfilter und allfällige Undichtigkeiten im Luftführungssystem in der Werkbank. Bei hochpathogenen Mikroorganismen kann jedoch auch diese geringe Menge bedenklich sein.

Eine **Sicherheitswerkbank Klasse 3** ist ein geschlossener, mit Materialschleuse versehener „Kasten“, in dem ein Unterdruck von mindestens 150 Pa herrscht. Es wird gereinigte Zuluft zugeführt, sodass in der Werkbank eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 m/s besteht. In der Werkbank kann man nur durch eingebaute Handschuhe oder mit Manipulatoren arbeiten.

Die aus einer Sicherheitswerkbank Klasse 3 abgesaugte Luft wird über zumindest zwei Hochleistungs-Schwebstoff-Filter von Partikeln gereinigt und ins Freie abgeführt. Zusätzlich kann die Reinigung durch ein Bakterienfilter erforderlich sein.

Die Anforderungen betreffend die Sicherheitswerkbänke entstammen der DIN 12950 Teil 10 (Ausgabe Oktober 1991) „Laboreinrichtungen; Sicherheitswerkbänke für mikrobiologische und biotechnologische Arbeiten, Anforderungen, Prüfung“. Seit 1999 ist die Europäische Norm EN 12 469 „Biotechnik – Leistungskriterien für mikrobiologische Sicherheitswerkbänke – *Biotechnology – Performance criteria of microbiological sfety cabinets*“ maßgeblich.

23 Sicherer Umgang mit elektrischem Strom und elektrischen Geräten

Entnehmen Sie die grundlegenden Informationen den Abschnitten 7.1 und 4.2 in SICHER ARBEITEN !

Die Gefahren des elektrischen Stroms bestehen in seiner

- Wirkung auf den menschlichen Körper und in seiner
- möglichen Wirkung als Zündquelle durch die Erzeugung von Wärme und Funken.

23.1 Wirkung auf den menschlichen Körper

Diese ist abhängig von der auftretenden Stromstärke – diese wieder hängt bei gegebener Spannung (zB 230 V) vom momentanen ohmschen Widerstand des Körpers ab.

- Die physiologische Wirkung besteht vor allem in der **lebensbedrohlichen Störung von Steuerungsabläufen** und in Krämpfen. Sie tritt schon bei Stromstärken ein, die keine äußeren Verletzungen (Verbrennungen...) hervorrufen.

  Hier steht die Störung der Koordination des Herzschlages (Steuerung der Herzkontraktionen) an erster Stelle. Sie führt zum akut lebensbedrohlichen **Herzkammerflimmern**.

  Die Herzkontraktionen werden dabei unkoordiniert, das EKG völlig unregelmäßig, der Kreislauf steht still. Von selbst geht dieser Zustand nicht mehr in die normale Herztätigkeit über. Elektrische Reize bestimmter Dauer und Intensität vermögen jedoch den Zustand des Flimmerns zu stoppen und in eine normale Herztätigkeit überzuleiten (Defibrillation). Dabei werden die unkoordiniert zuckenden Herzmuskelfasern gleichzeitig kontrahiert.

  Gelingt es – nach Befreiung aus dem Stromkreis – durch rasch eingeleitete künstliche Beatmung und Herzmassage einen Notkreislauf aufrecht zu erhalten, bis ein Arzt (Sanitäter) mit einem Defibrillator eintrifft, besteht noch die Chance auf Rettung. Die Chance auf eine erfolgreiche Defibrillation ist umso besser, je rascher sie durchgeführt wird. (Die Aussicht auf Erfolg beträgt nach der dritten Minute nur mehr 30 %; in einigen Fällen war die Defibrillation aber noch nach zwei Stunden erfolgreich).

  Das Diagramm auf der nächsten Seite zeigt die **Auslösebedingungen für Herzkammerflimmern** in Abhängigkeit von Stromstärke und der Durchströmungszeit. Die interindividuellen Unterschiede werden durch den Median (hier tritt Flimmern bei 50 % der Menschen ein) sowie das 5. und das 95. Perzentil (Eintreten des Flimmerns bei 5 % und bei 95 % der Menschen) beschrieben.

- Bei „leichteren“ Elektrisierungen tritt die Gefahr des **Sekundärunfalls** in den Vordergrund. Die willentliche Steuerung der Bewegungen setzt kurz aus und das Ausrutschen mit der Hand, Verlust des Gleichgewichtes, das unkontrollierte Anschlagen an eine Apparatur, Fallenlassen von Chemikalien, der Sturz von der Leiter, usw können die Folge sein.

- Länger andauernde **Funktionsstörungen von Nerven und Muskeln** können auftreten.

- Bei höheren Strömen (ab etwa 8 A) kommt zusätzlich die energetische Wirkung durch die entwickelte Hitze hinzu; sie bewirkt **äußere und innere Verbrennungen**.

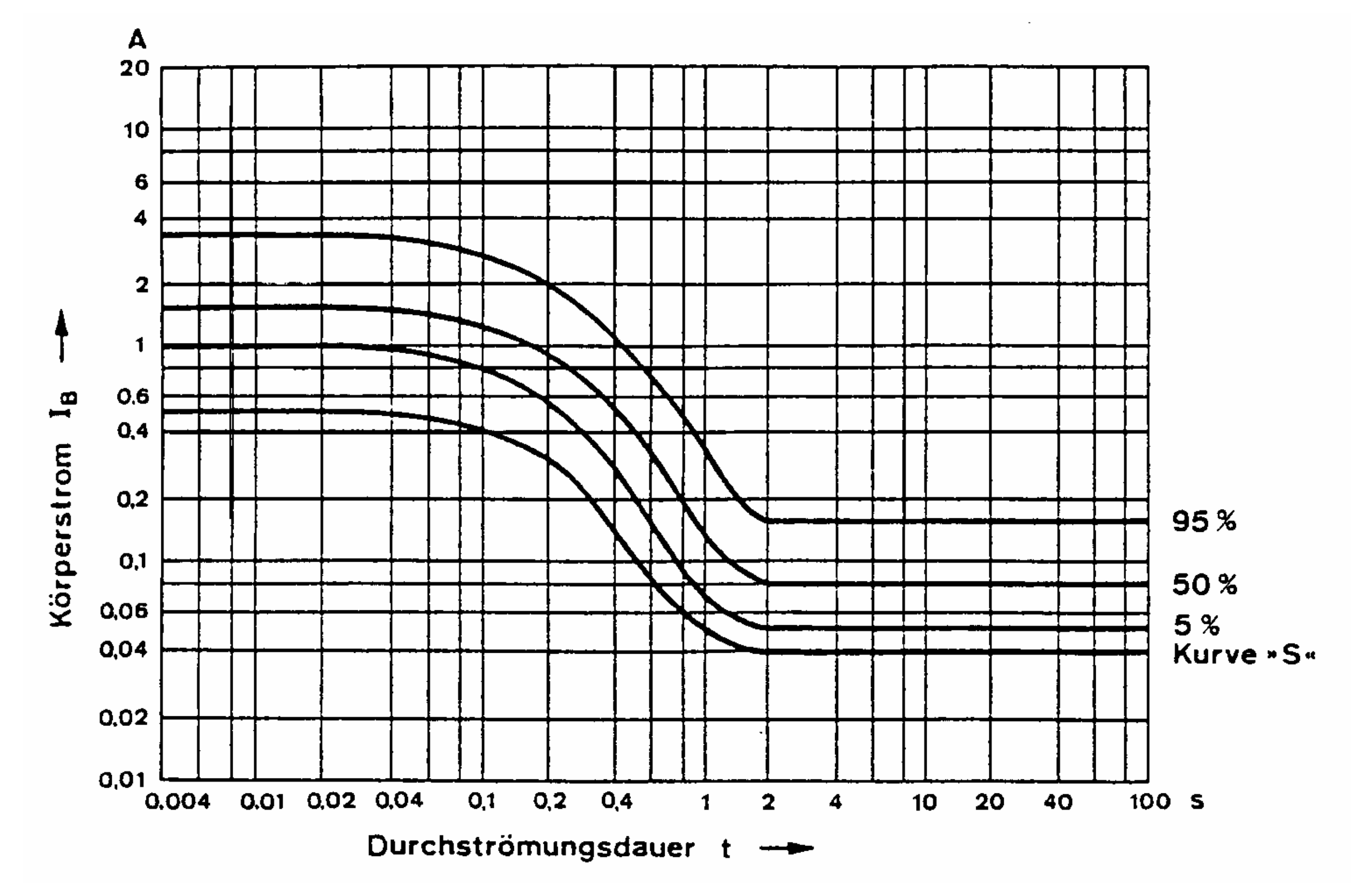


Abbildung: Flimmerschwellen für Menschen, unabhängig von Alter und Gewicht, bei normalem Gesundheitszustand und Längsdurchströmung

S Grenzschwelle („Sicherheitsschwelle")
5% Schwelle für 5% Flimmerwahrscheinlichkeit
50% Schwelle für 50% Flimmerwahrscheinlichkeit
95% Schwelle für 95% Flimmerwahrscheinlichkeit

- In einem Kurzschluss-Lichtbogen (~ 4000 °C) wird Metall verflüssigt bzw verdampft und wird durch die Blaswirkung des elektromagnetischen Feldes herausgeschleudert. Die Folgen: **Verbrennungen** ersten und zweiten Grades; **Schädigung der Augen** durch die intensive UV-Strahlung.

Die im folgenden angeführten **Wirkungsschwellen niederfrequenten Wechselstroms** unterliegen großen individuellen Schwankungen und sind vom Stromweg durch den Körper abhängig (vgl Abschnitt 7.2 in SICHER ARBEITEN). Es handelt sich um grobe Richtwerte:

~1 mA → Wahrnehmungsschwelle
ab ~10 mA → Verkrampfungen, die ein Loslassen nicht mehr ermöglichen
ab ~ 40 mA → Herzkammerflimmern, wenn der Strom länger als etwa einen Herzschlag lang von einer Hand über den Körper zu den Füßen fließt.

Unter Annahme des üblichen Körperwiderstandes (~ 700 ··· 1000 Ω) **können daher** (OHMsches Gesetz) **bereits Wechselspannungen ab 40 V tödlich sein. (Dh schon die Spannung des Festnetz-Telefons.)**

Im Labor ist wegen häufig feuchter Hände (Elektrolytlösungen!) und leitfähiger Fußböden von einem geringeren Übergangswiderstand Leiter — Körper und
Körper — Boden auszugehen.

Pro Jahr sterben in Österreich etwa 20 Menschen durch elektrischen Strom.

23.2 Hohe Spannungen im Labor

Elektrophorese-Geräte (Papierelektrophorese, Gelelektrophorese) arbeiten mit hoher Gleichspannung von etwa 500 bis 10 000 V. Vor allem ältere Typen oder Eigenbau-Improvisationen haben keinen Schutz gegen das Berühren stromführender Teile.
Wenn keine Strombegrenzung (automatische Abschaltung) vorhanden ist oder diese nicht funktioniert, kann eine gefährliche Elektrisierung eintreten !

Gefährliche Hochspannungen liegen häufig in Geräten vor, die bei ordnungsgemäßem Betrieb verschlossen sein müssen: zum Beispiel bei Elektronenbeschleunigungsröhren:

Bildschirmröhre, Oszilloskop,

Röntgenröhre, ...

Hochspannungsentladungsröhren zB in Laser-Geräten ...

Die elektrostatische Aufladung am Kunststoffboden odgl ist ein Beispiel für eine elektromedizinisch *nicht* gefährliche Hochspannung. Der elektrische Schlag ist unangenehm, wegen seiner geringen Stromstärke für den Körper jedoch nicht gefährlich. Allerdings kann von dem Entladungsfunken ein explosionsfähiges Dampf-Luft-Gemisch gezündet werden (siehe Abschnitt 20.4). Eine indirekte Gefahr kann zusätzlich beispielsweise darin bestehen, dass man durch die plötzliche Elektrisierung etwas fallen lässt.

23.3 Wichtige Sicherheitssysteme zum Schutz vor Elektrisierung

Im folgenden werden elektrotechnische Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme kurz dargestellt, die auch im chemischen Labor sehr wichtig sind:

23.3.1 Schutzerdung = „Erdung“

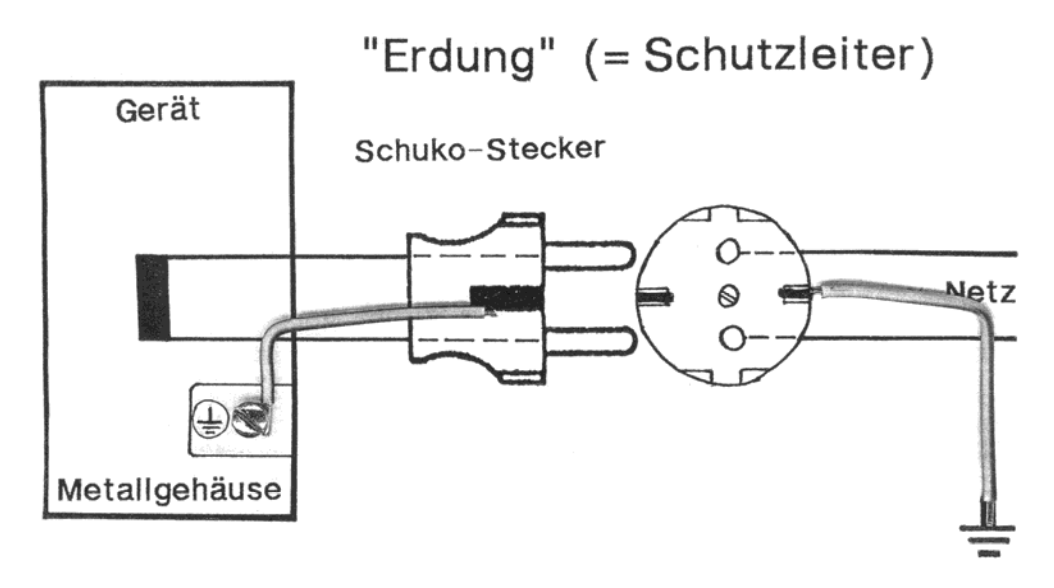
Bei der Schutzerdung verbindet der Schutzleiter (= „Erder“) das Metallgehäuse eines Gerätes mit dem Erdpotenzial. Kommt im Fehlerfall Spannung auf das Metallgehäuse, fließt der Strom hauptsächlich über diesen Leiter und nur in geringem Maß über eine Person, die das Gehäuse berührt, zur Erde ab (siehe Abbildung). Anschlussstellen für den Schutzleiter sind mit dem nebenstehenden Symbol gekennzeichnet. Der „Erder“ ist der „dritte“ Leiter; er muss immer **gelb-grün** gekennzeichnet sein (Vorsicht bei außereuropäischen Geräten !). In Schaltplänen ist er manchmal als „PE“ (protective earth) bezeichnet.
Der Schutzleiter wird über den „Schutzkontakt“ im „Schuko“-Stecker geführt.

Der Schutzleiter ist daher genau so „wichtig“ wie die betriebsmäßig stromführenden Leiter. **Er darf daher nirgends beschädigt oder unterbrochen sein.** Das bedeutet:

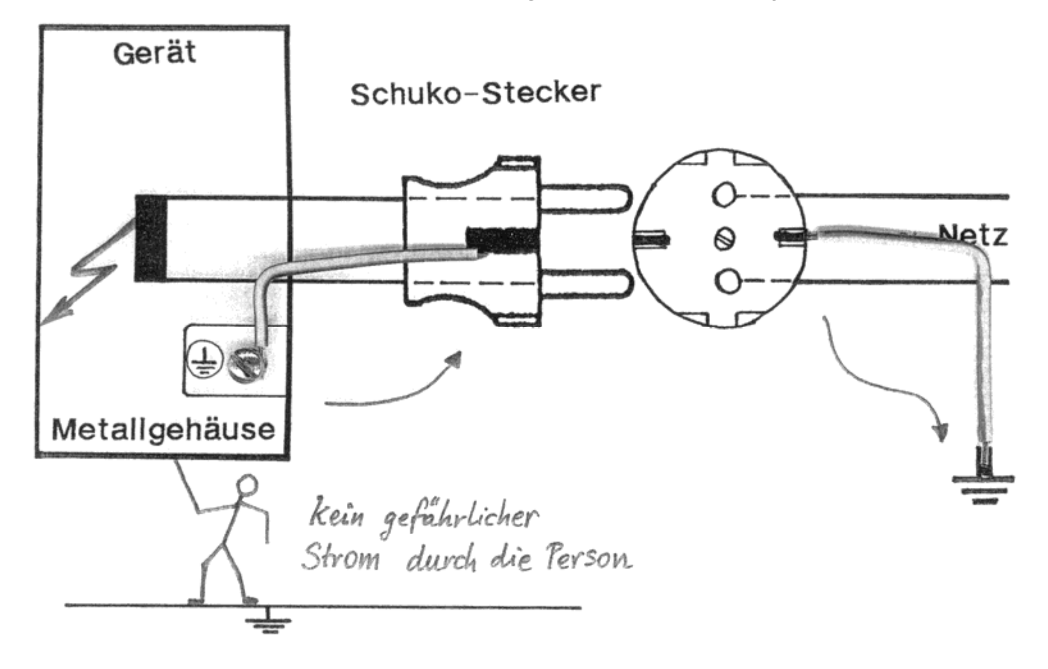
- Bei verbogenen oder korrodierten Schutzkontakten in der Schuko-Steckdose muss diese ausgetauscht werden;
- Der Schutzleiter muss stets angeschlossen sein (in der Steckdose, im Stecker ...);

- Ein Schuko-Stecker und eine Schuko-Steckdose dürfen nur montiert sein, wenn „dahinter“ auch tatsächlich ein angeschlossener Schutzleiter vorhanden ist. Sonst ist dies eine gefährliche Vortäuschung einer Schutzmaßnahme !
- Die Gefahr der Unterbrechung des Schutzleiters (sowie die Gefahr des Herausziehens anderer Leiter sowie die Gefahr eines Lichtbogen-Kurzschlusses usw) besteht auch, wenn die Zugentlastung im Stecker einer beweglichen Anschlussleitung herausgerutscht oder locker ist.

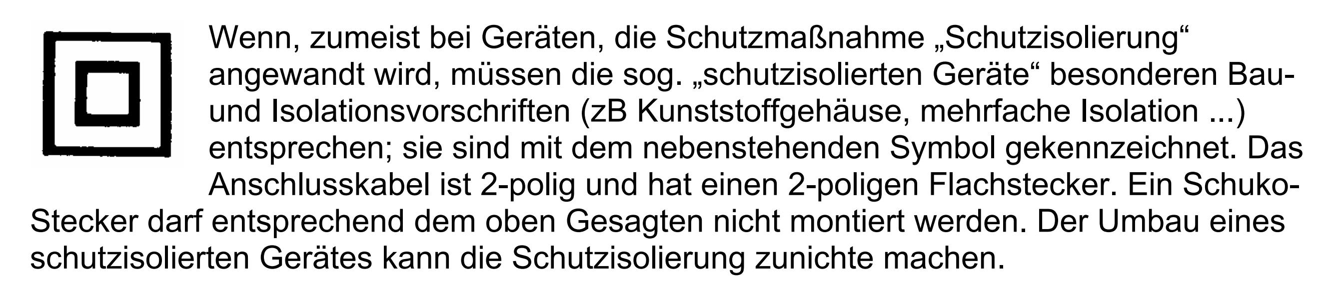
Schema der Schutzerdung:



Wirkungsweise der Schutzerdung im Fehlerfall (Spannung kommt auf das Metallgehäuse, zB durch Isolationsschaden, Feuchtigkeit, Brandrauch):



23.3.2 Die „schutzisolierten Bauweise“

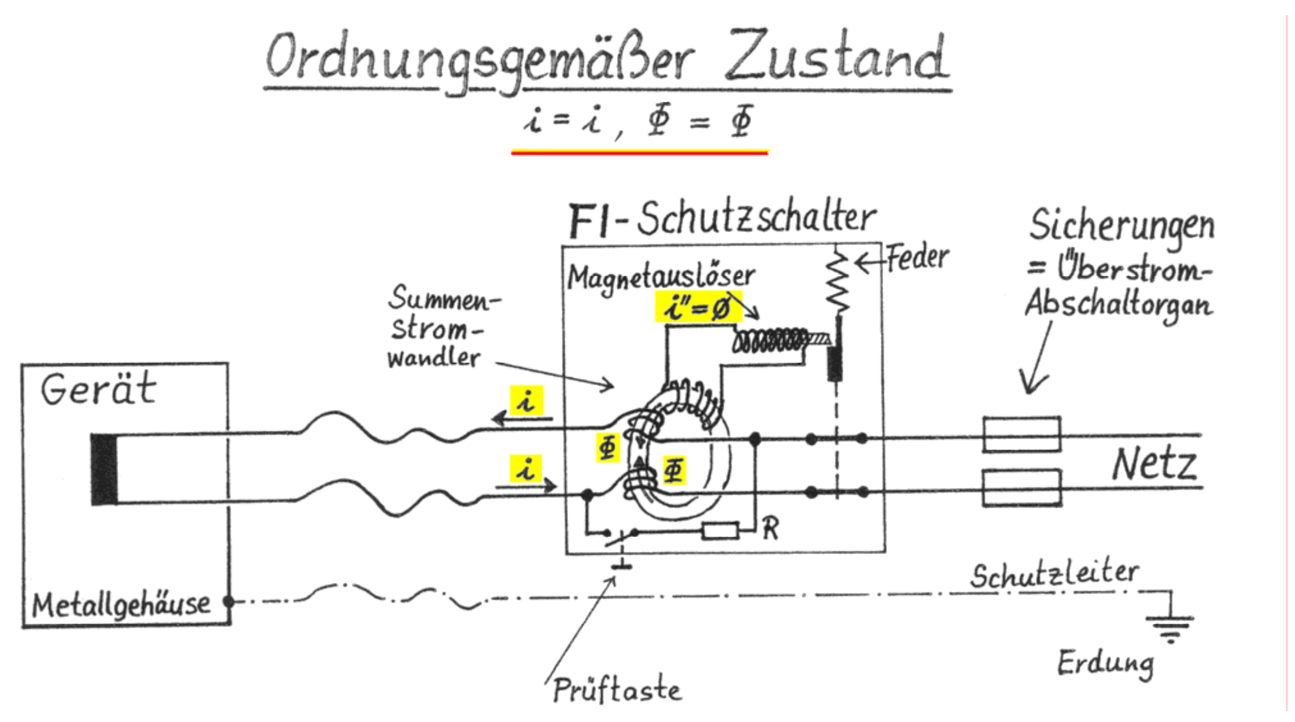


Wenn, zumeist bei Geräten, die Schutzmaßnahme „Schutzisolierung“ angewandt wird, müssen die sog. „schutzisolierten Geräte“ besonderen Bau- und Isolationsvorschriften (zB Kunststoffgehäuse, mehrfache Isolation ...) entsprechen; sie sind mit dem nebenstehenden Symbol gekennzeichnet. Das Anschlusskabel ist 2-polig und hat einen 2-poligen Flachstecker. Ein Schuko-Stecker darf entsprechend dem oben Gesagten nicht montiert werden. Der Umbau eines schutzisolierten Gerätes kann die Schutzisolierung zunichte machen.

23.3.3 Fehlerstromschutzschaltung = FI-Schutzschaltung

Der FI-Schalter schaltet ab, wenn aus dem Stromkreis Strom zur Erde abfließt. Er „vergleicht“ den Strom in den betriebsmäßig stromführenden Leitern (der „Phase“ und der „Null“) miteinander und löst bei Überschreiten eines „Fehlbetrages“, des sog. Fehlerstromes I_F, innerhalb von Millisekunden die Abschaltung aus. Der Auslöse-Fehlerstrom I_F beträgt abhängig von der Type des FI-Schalters meist 30 oder 100 mA.

Schema der Fehlerstromschutzschaltung:



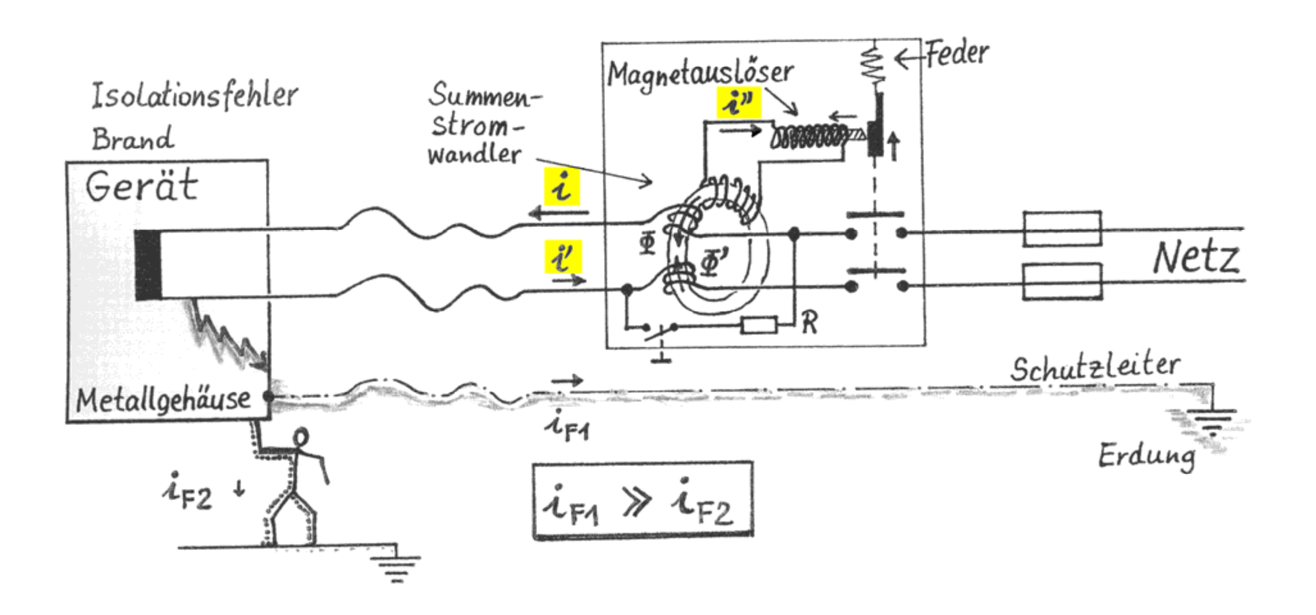
Der Fehlerfall ist also: Strom fließt aus dem Stromkreis zur Erde ab, statt vollständig über den „Rückleiter“ zurückzufließen (siehe Abbildungen).
Auf welchem Weg und warum kann dieser Fehlerstrom fließen ?

1. Über einen Menschen, der einen **ordnungsgemäß stromführenden Teil** berührt (obwohl er das nicht tun sollte).
2. Über einen Menschen, der ein **Gehäuse** oder einen anderen Metallteil berührt, der **infolge eines Fehlers** (zB beschädigte Isolation oder Feuchtigkeitszutritt) **unter Spannung steht**.

Fehlerstromschutzschaltung – Wirkungsweise im Fehlerfall a) bei einwandfreiem Schutzleiter und b) ohne Schutzleiter:

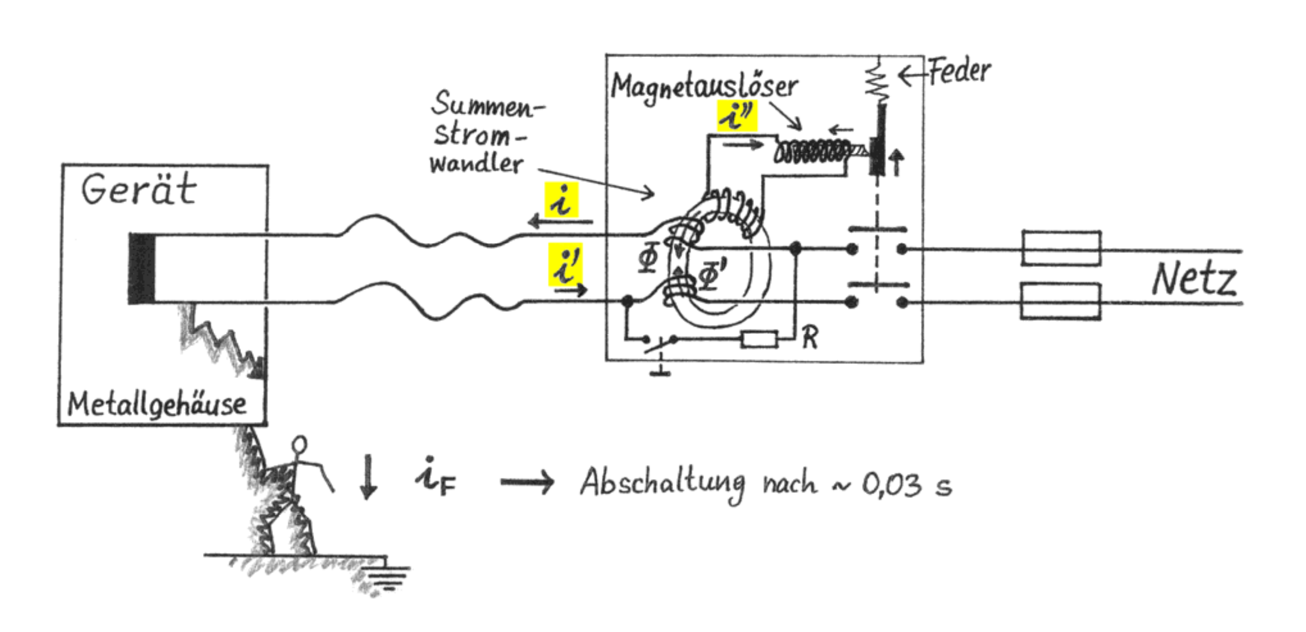
Fehlerfall - Schutzleiter funktioniert

$i \neq i'$, $\Phi \neq \Phi'$ → Abschaltung in ~ 0,03 s



Fehlerfall — Kein Schutzleiter

$i \neq i'$, $\Phi \neq \Phi'$ → Abschaltung



3. Über andere Wege **ohne Einbeziehung eines Menschen** (zB Isolationsschaden und Kriechstrom in der Mauer, Feuchtigkeitsbrücken, Rohrleitungen usw, oder über den Schutzleiter [Abschnitt 23.3.1]). Ein Spezialfall dessen ist Folgender:

4. Im **Brandfall** entsteht ein Fehlerstrom häufig durch leitfähige (ionenreiche) Brandgase und/oder durch Isolationszerstörung. Ist ein Schutzleiter [Abschnitt 23.3.1] in der Nähe, kann der Fehlerstrom in diesen abfließen und die FI-Schutzschaltung bewirkt eine – erwünschte – frühzeitige Abschaltung des Stromkreises im Brandbereich. Bei der Planung der elektrischen Installationen sollte daher darauf geachtet werden, dass die auch in Notfällen benötigten Beleuchtungsanlagen mit eigenen Stromkreisen versorgt werden.

Die Fälle 1 und 2 schützen den Menschen unmittelbar, der Fall 3 schützt jene Menschen, die das fehlerhafte Gerät als nächste berührt hätten. Der Fall 4 führt (als Sonderfall von 3) zu einer meist willkommenen Spannungsabschaltung im Brandfall.

Beachte: Der FI-Schalter übt eine grundsätzlich andere Funktion aus als eine Sicherung, die [ausgeführt als Schmelzsicherung oder als Leitungsschutzschalter] als Überstrom-Abschaltorgan die elektrische Anlage vor unzulässig hoher Stromstärke schützt.

Jeder FI-Schalter muss zumindest alle 6 Monate mit der eingebauten Prüftaste geprüft werden (günstig: bei Umstellung Normal-/Sommerzeit). Dies ist umso wichtiger, als die Erfahrung gezeigt hat, dass relativ viele FI-Schalter mit zunehmendem Gerätealter funktionsunfähig werden !

Die mittlere Ausfallsrate der FI-Schalter beträgt ~ 3 %. Nach mehr als 10 Jahren Einbaudauer steigt sie auf 8 bis 9 %!! In der Schweiz wurde sogar eine Ausfallsrate von ~ 22 % festgestellt.

23.3.4 Schutz gegen das Eindringen fester Fremdkörper und von Wasser

Der sog. Berührungs- und Fremdkörperschutz sowie der Wasserschutz eines elektrischen Betriebsmittels wird am Gehäuse (am Typenschild) mit Kennziffern angegeben. Zum Beispiel:

IP 54

Diese Kennzeichnung ist international einheitlich und beginnt mit den Kennbuchstaben „IP“ („International Protection“). Die anschließende erste Kennziffer verschlüsselt den Schutzgrad des Berührungs- und Fremdkörperschutzes, die zweite Kennziffer den Schutzgrad gegen das Eindringen von Wasser. Ist eine der beiden Schutzarten nicht bestimmt, steht an der Stelle der fehlenden Kennziffer das Zeichen „X“.

Die Bedeutung der Kennziffern, die dazu gebräuchlichen Bildzeichen und der jeweilige Schutzumfang sind aus den **Tabellen auf Seite 158** ersichtlich.

So ist das mit „IP 54“ gekennzeichnete Gerät (a) vollständig gegen inneres Berühren und innere Staubablagerung sowie (b) gegen Spritzwasser geschützt.

23.4 Zündung durch gefährliche Erwärmung

Ein Kurzschlusslichtbogen (Temperatur ~ 4000 °C) entzündet fast alle brennbaren Materialien.

Heiße Oberflächen können als Zündquellen wirken (vgl Abschnitt 20.2), zB Elektroheizplatten, Heizhauben, Glühbirnen; Heizelemente in Trockenschränken, Sandbädern, trockengelaufenen Wasserbädern, im Heißluftgebläse oder Föhn ...

Tabelle Schutz gegen Berührung und das Eindringen fester Fremdkörper

Erste Kennziffer	Bildzeichen	Bedeutung	Erklärung
0		Kein Schutz	Kein besonderer Schutz von Personen gegen direktes Berühren aktiver oder bewegter Teile. Kein Schutz des Betriebsmittels gegen Eindringen von festen Fremdkörpern.
1		Schutz gegen große Fremdkörper	Schutz gegen zufälliges großflächiges Berühren aktiver und innerer bewegter Teile, z. B. mit der Hand. Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 50 mm.
2		Schutz gegen mittelgroße Fremdkörper	Schutz gegen Berühren mit den Fingern aktiver oder innerer bewegter Teile. Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 12 mm.
3		Schutz gegen kleine Fremdkörper	Schutz gegen Berühren aktiver oder innerer bewegter Teile mit Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 2,5 mm. Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 2,5 mm.
4		Schutz gegen kornförmige Fremdkörper	Schutz gegen Berühren aktiver oder innerer bewegter Teile mit Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 1 mm.
5		Schutz gegen Staubablagerung	Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender oder innerer sich bewegender Teile. Schutz gegen schädliche Staubablagerungen.
6		Schutz gegen Staubeintritt	Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender oder innerer sich bewegender Teile. Schutz gegen Eindringen von Staub.

Tabelle Schutz gegen das Eindringen von Wasser

Zweite Kennziffer	Bildzeichen	Bedeutung	Erklärung
0		Kein Schutz	Kein besonderer Schutz
1		Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser	Wassertropfen, die senkrecht fallen, dürfen keine schädliche Wirkung haben.
2		Schutz gegen schräg fallendes Tropfwasser	Wassertropfen, die in einem beliebigen Winkel bis 15° zur Senkrechten fallen, dürfen keine schädliche Wirkung haben.
3		Schutz gegen Sprühwasser	Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60° zur Senkrechten fällt, darf keine schädliche Wirkung haben.
4		Schutz gegen Spritzwasser	Wasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel spritzt, darf keine schädliche Wirkung haben.
5		Schutz bei Strahlwasser	Ein Wasserstrahl aus einer Düse, der aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel gerichtet wird, darf keine schädliche Wirkung haben.
6		Schutz gegen Überflutung	Wasser darf bei vorübergehender Überflutung, z. B. durch Schwere Seen, nicht in schädlicher Menge in das Betriebsmittel eindringen.
7		Schutz beim Eintauchen	Wasser darf nicht in schädlicher Menge eindringen, wenn das Betriebsmittel unter den festgelegten Druck- und Zeitbedingungen in Wasser eingetaucht wird.
8	... bar	Schutz beim Untertauchen	Wasser darf nicht in schädlicher Menge eindringen, wenn das Betriebsmittel unter Wasser getaucht wird.

An einem **„Wackelkontakt" (Funkenstrecke)** oder an sonstigen **Kontakten mit erhöhtem elektrischem Widerstand** kommt es mit der Zeit zu einer starken Erhitzung (und Verschmoren) der Kontakte, der Isolationen und der unmittelbaren Umgebung. Dadurch entsteht **Zünd- und Brandgefahr** !

An der Laborluft können über die Jahre Kontakte so stark **korrodieren**, dass sich diese vor allem bei höherer Stromstärke so stark erhitzen, dass Kabel- und Kunststoffisolationen schmelzen können. Der Laborluft sind nicht nur die Geräteanschlussstecker ausgesetzt, sondern auch die Steckdosen und alle Schalter einschließlich der Lichtschalter.

Eine Funkenstrecke (Wackelkontakt) kann überall entstehen, wo Drähte mit Schraubklemmen angeschlossen sind und eine Schraubklemme nicht ausreichend festgezogen wurde oder sich gelockert hat (Anschlussklemmen von Steckern, Steckdosen, Schaltern, Verbrauchsgeräten, Sicherungen, FI-Schaltern; Abzweigklemmen...). Sie kann sich auch ausbilden, wo ein Kontakt absichtlich nur durch Berührung aufrechterhalten wird (dh bei fast allen Schaltern, in Lampenfassungen) und die Berührungsfläche für den geforderten Stromfluss zu klein oder oxidiert ist. Die Gefahr steigt mit der Stromstärke.

Überhitzte oder überlastete Geräte oder Anschlüsse können sich (vorzugsweise über Nacht oder übers Wochenende) so stark erhitzen, dass Kunststoffteile pyrolysieren und leicht entzündliche Zersetzungsgase freisetzen, die an den heißen Teilen oder durch Funken entzündet werden. Auch auf dem Gerät liegendes Papier kann entzündet werden.

Sicherheitsmaßnahmen:

- Bei Stromfluss warm werdende Anschlüsse, Stecker, Steckdosen, Schalter udgl sind **unverzüglich zu melden**. Bei fortgeschrittener Gefahr ist die Erhitzung manchmal vom Auftreten eines „Kunststoff-Zersetzungsgeruches" begleitet (Steckdoseneinsätze bestehen oft aus Phenol-Formaldehyd-Harz). In ruhiger Umgebung ist manchmal das „Knistern" einer Funkenstrecke sogar zu hören.
  Der schadhafte elektrische Bauteil muss durch eine fachkundige Person getauscht werden!
- Korrodierte **Stifte** des Anschusssteckers können mit sehr feinem Schleifpapier etc von der Korrosionsschicht befreit werden. Bleibt dies erfolglos, muss man den fachgerechten Tausch des Anschlusskabels veranlassen.
- Elektrische Geräte sollen – gerade in der Laborverwendung – **regelmäßig überprüft** werden (beginnende Isolationsschäden, gefährliche Verschmutzung, innere Korrosion, losgerissene Zugentlastung bei der Einführung des Anschlusskabels)
- Schalter, Steckdosen oder Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen die unmittelbar auf Holz montiert sind (Selbstbauimprovisationen in Labors etc!), stellen eine lauernde Brandgefahr dar. Unter derartigen Anlagenteilen muss sich eine **brandhemmende Unterlage** befinden, sofern es sich nicht um rückwärts geschlossene Bauformen von Steckdosen und Schaltern etc handelt !

Weitere Beispiele und Sicherheitsmaßnahmen:

In einer über Nacht betriebenen **Elektroheizplatte eines Magnetrührers** ist durch einen Gerätemangel der Thermostat-Schalter hängen geblieben. Die Heizplatte erzeugte Hitze, bis das Gerät verschmorte, die betriebene Apparatur zerbrach und ein Laborbrand

ausgelöst wurde. → Derartige Apparaturen dürfen nur dann unbeaufsichtigt laufen, wenn ein eigener, zusätzlicher Temperaturendschalter, der zB mit dem Heizbad in Verbindung steht, bei Überschreiten eines Sicherheitswertes die Heizung auf Dauer abschaltet. Über Nacht dürfen üblicherweise auch solche Apparaturen nur in eigenen Nachtlabors (mit geringer Brandlast, periodischer Überwachung durch Nachwächter) betrieben werden.

Auch eine **Kaffeemaschine** kann einen Brand auslösen, wenn der Bimetall-Thermostat altersbedingt auf solche Weise ausfällt, dass die Heizplatte dauernd heizt; das Kunststoffgehäuse pyrolysiert und entflammt → Nach Gebrauch immer abschalten !

Netzgeräte, wie sie bei Taschenrechnern, 12 V-Schreibtischlampen usw üblich sind, sind oft ohne Sicherheitsreserve konstruiert. Sie können sich daher uU leicht überhitzen und abbrennen. → Nie verdecken oder abdecken (Wärmestau!) → Allenfalls bei Nicht-Gebrauch bzw über Nacht abstecken !

Kopiergeräte können durch Wärmestau oder Überhitzung einen Brand auslösen → Kopierer bei Arbeitsschluss ausschalten !

Lüftungsschlitze und Ventilatoransaug- und -ausblas-Öffnungen von Geräten *nie* verdecken !! → Regelmäßig von Staub befreien !

Elektro-Wärmegeräte bei Betrieb niemals abdecken und auf der sinnvoll niedrigsten Stufe betreiben !

23.5 Zündwirkung durch elektrische Funken

Alle **Motorfunken** und **Schaltfunken** können entzündbare Gasgemische (siehe Abschnitt 19.4) zünden und so eine Explosion auslösen. Solche Funken treten zB auf in oder an

Schaltern,

Klingeln,

Rührmotoren, Magnetrührern, (nicht explosionsgeschützten) Ventilatormotoren

Thermostaten beispielsweise in Trockenschränken, Kühlschränken (Abschnitt 20.3), Heizplatten und Warmwasserspeichern (zB über oder unter dem Spülbecken montiert)

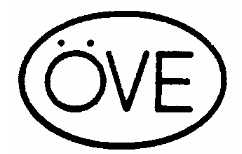
elektrostatischen Entladungen (Abschnitt 20.4).

Zündfähig sind auch **Funkenstrecken** an Wackelkontakten (Abschnitt 23.4).

23.6 Weitere Sicherheitsmaßnahmen

Zündquellen an elektrischen Einrichtungen können durch explosionsgeschützte Bauweise ausgeschaltet werden. Solche Betriebsmittel (die meist sehr teuer sind) verhindern das Eindringen von entzündbaren Gasen und weisen keine heiße Oberfläche auf. Sie werden in üblichen Labors nicht eingesetzt, weil im Labor in der Regel stets *viele* Zündquellen zugleich vorhanden sind und sich mit der aufwändigen Ausschaltung *einer* Zündquelle nur wenig an Sicherheit gewinnen ließe — Beachte jedoch die wichtige Ausnahme des Kühlschrankinnenraumes (Abschnitt 20.3) !

Da im Labor stets auch andere Zündquellen vorhanden sind bzw auf elektrische Heizung nicht verzichtet werden kann, muss aus sicherheitstechnischen Gründen das Zustandekommen gefährlicher Mengen explosionsfähiger Atmosphäre verhindert werden, zB durch Absaugung brennbarer Dämpfe (Abschnitt 19.6).



Wenn möglich, sollen nur Geräte mit Prüfzeichen (ÖVE-Prüfzeichen bzw mit Prüfzeichen aus einem anderen europäischen Staat, das eine gleichwertige Sicherheit bestätigt) eingesetzt werden. Das Zeichen CE ist kein Qualitätszeichen, sondern besagt nur, dass das Produkt im EWR gehandelt werden darf !

Elektrische Geräte müssen vor jeder Verwendung einer **Sichtkontrolle auf Mängel** unterzogen werden (Anschlusskabel, Stecker, Gehäuse, ...)

Beschädigte Steckdosen, schadhafte Isolierteile und Abdeckungen sowie Kabel mit schadhafter Isolierung und Stecker mit schadhafter Zugentlastung sofort **melden**, damit sie repariert werden !

Schadhafte Geräte aus dem Verkehr nehmen, zuverlässig kennzeichnen und melden ! Vorsicht vor allem bei Selbstbau- und Uralt-Geräten.

Wenn Sie als informierte Person zulassen, dass jemand mit einem von Ihnen als gefährlich fehlerbehaftet erkannten Gerät arbeitet, sind Sie unter Umständen sogar haftbar, falls sich eine Person verletzt.

Kabel dürfen nicht mit heißen Gegenständen (Heizplatte, Apparatur) in Berührung kommen, weil Hitze die Kabelisolation zerstört.

Neuere Labors haben vor dem Laboreingang manuelle **zentrale Spannungs-abschaltungen** (Not-Aus-Taster) für den Notfall. Vorzugsweise wird die Not-Ausschaltung für die einzelnen Labor-Zeilen, sowie für Beleuchtung und für Belüftung getrennt ausgeführt.

24 Gefahren durch nichtionisierende Strahlung

Gleichfelder und niederfrequente Felder siehe Abschnitt 26, Laser-Strahlung siehe Abschnitt 24.5.

Für die Haut und das Gewebe gilt die allgemeine Regel: *Je kleiner die Wellenlänge, umso kleiner die Eindringtiefe.* Der Ort der Schädigung verschiebt sich an die Körperoberfläche. Für die besonders gefährdeten Augen gilt sie mit der Ausnahme des kurzwelliges IR bis zum blauen Ende der sichtbaren Strahlung (Wellenlängenbereich 1400 — 400 nm).

24.1 Elektromagnetische Strahlung (HF bis Infrarot)

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung (ν ab ~ 30 kHz) verursacht eine **Gesundheitsschädigung** durch die im Gewebe (und vor allem in der Hornhaut oder der Linse des Auges) ausgelöste **Temperaturerhöhung.** Die Hitze-Schädigung im Körper hängt von der Möglichkeit der Wärmeabfuhr an den betroffenen Stellen ab (Durchblutung). Die Überhitzung kann sich auf einen kleinen Bereich („hot spot“, wenige Gramm Gewebe) konzentrieren; das ist vor allem bei ~ 10 bis ~ 300 MHz kritisch, da in diesem Frequenzbereich die Wellenlänge etwa gleich der Länge des Körpers bzw der Gliedmaßen ist. Die einfallende und die im Körper reflektierte Strahlung können in Interferenz treten und sich verstärken.

Mikrowellenstrahlung (zB 2,45 GHz entspricht $\lambda \approx$ 12 cm) dringt schon fast nicht mehr in den Körper ein. Die Strahlungsenergie wird in der Haut und in den äußeren Gewebeschichten in Wärme umgesetzt. **Dabei ist das menschliche Auge besonders gefährdet.** Es kann die Wärme nicht abführen und es kommt zu einer irreversiblen Linsentrübung (zB bei 150 mW/cm^2 bereits nach 100 Minuten !).

Die derzeitigen Grenzwerte sind in ÖNORM S 1120 (Mikrowellen- und Hochfrequenzfelder) festgelegt. Einen Überblick gibt das Merkblatt M 470 „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz“ der AUVA. Online zugänglich unter: http://www.auva.at/mediaDB/118546.PDF

Weitere beobachtete Gefahrenwirkungen:

- Metallerwärmung durch Induktion (Gefahr bei metallischem Schmuck, Metallbrillen)
- Zündwirkung, wenn durch Induktion dünne Drähte sehr heiß werden oder glühen
- Mikro-Elektrisierungen durch die induzierte Spannung in größeren Metallteilen
- Störung von Herzschrittmachern — Lebensgefahr!

Vermutete Wirkungen:

- Missbildungen bzw Sterilität (gefunden im Versuch an Mäusen)
- Störung der Ionendiffusion durch Zellmembranen infolge felderzeugter Potenzialdifferenzen (bei etwa 10 — 30 kHz), dadurch uU geänderte Verteilung und Wirkung von körperfremden Stoffen (zB Medikamente, Schadstoffe)
- Anordnung und Ausrichtung von Biomolekülen infolge felderzeugter Kraftwirkungen (Perlschnureffekt) und dadurch Schädigung oder Zerstörung von Zellmembranen

Langwelliges IR (~ 4000 nm [entspricht ~ 80 000 GHz] bis1400 nm) gelangt nur zu einem sehr geringen Teil bis zur Netzhaut. Es erwärmt vorher die eiweißhaltige Flüssigkeit der Linse (die über keine effiziente Möglichkeit der Wärmeabfuhr verfügt). Die Folge ist eine Trübung der Linse, sog. grauer Star (zB „Feuerstar“, eine Berufskrankheit der Glasbläser und Metallschmelzer), die oft zur Erblindung führt. Diese fortschreitende Augenerkrankung wird erst spät erkannt ! Als Gefahrenquelle kommen auch Muffelöfen, Tiegelöfen und andere Hochtemperaturöfen in Frage.

Kurzwelliges IR (1400 — 780 nm, sog. „IR-A“), geht fast ungeschwächt bis zur Netzhaut durch. Es entwickelt dort Wärme, die bis zur Netzhaut-Verbrennung führen kann.

Sehr intensive IR-Strahlung, wie sie bei IR-Lasern auftritt, gelangt auch durch das geschlossene Augenlid ins Auge.

24.2 Mechanische Gefahr durch Speziallampen

Viele in Geräten verwendete Speziallampen (Gasentladungslampen, Metalldampflampen etc) stehen unter Unter- oder Überdruck (zB Xe-Hochdrucklampen ~40 bar Innendruck; Halogenlampen mit Kr-Füllung bis ~12 bar Innendruck). Tragen Sie beim Hantieren, zB Wechseln, daher immer Korbbrillen und Handschuhe.

→ Den Kunststoffschutz der Lampe möglichst spät entfernen und auf die auszubauende Lampe zum frühestmöglichen Zeitpunkt aufstecken.

→ Ausgebaute Hochdrucklampen (ausgenommen solche mit giftigem Inhalt) in festen Stoff einwickeln und mit einem Hammer zerstören (Korbbrille!), um eine spätere Gefahr auszuschalten.

24.3 Sichtbare Strahlung

Als sichtbare Strahlung wird der Frequenzbereich von 720 bis 400 nm (andere Konvention: 780 bis 380 nm) bezeichnet.

Sichtbares Licht wirkt bei Blendung schädlich, wenn Reaktionen der Pupille die Leuchtdichte nicht mehr abschwächen können. — Photokopieren mit offenem Gerätedeckel vermeiden !

24.4 Ultraviolette Strahlung

Der Bereich der UV-Strahlung erstreckt sich von 400 bis 200 (bzw 100) nm.

UV-Strahlung kommt beim chemischen Arbeiten relativ häufig vor. Sie wird zum Beispiel verwendet für die Fluoreszenz-Anregung (Fluoreszenz-Detektion zB bei DC), für Entkeimung bzw Sterilisation von Räumen und Arbeitsplätzen bei biochemischen Arbeiten (das Wirkungsmaximum liegt bei etwa 260 nm), für photochemisch verlaufende Reaktionen.

Viele Gasentladungslampen (Hg-Dampf: zB 254 nm; Xe-Niederdruck ua) haben einen hohen UV-Anteil.

Die gesundheitsschädigenden Wirkungen berufsbedingter UV-Exposition addieren sich mit jenen aus dem Alltag (Sonnenexposition, absichtliche Hautbräunung, etc).

24.4.1 Einteilung der UV-Strahlung

Den Wellenlängen 400 bis 200 nm entsprechen Photonenenergien zwischen 3,1 eV und 6,2 eV. Diese Energie liegt im Bereich chemischer Bindungsenergien.

UV-Strahlung wird aufgrund der unterschiedlichen Schädigungswirkung für den Menschen folgendermaßen eingeteilt:

UV-**A**	400 ··· 315 nm	Biologisch wirksam; vorwiegend bräunungswirkend. Es verstärkt wahrscheinlich die durch UV-B und -C gesetzten chronischen (Hautkrebs = Melanom) und akuten Schäden. Nach neueren Berichten soll jedoch für 90 % des Melanom-fördernden Effekts der Sonnenstrahlung UV-A und nur zu 10 % UV-B verantwortlich sein.
UV-**A1**	400 ··· 340 nm	Nach bisheriger Annahme nicht hautschädigend ?
UV-**A2**	340 ··· 315 nm	Schädigungspotenzial für das Bindegewebe und die Augen
UV-**B**	315 ··· 280 nm	Biologisch stark schädigend: hauptsächlich Sonnenbrand. UV-B wird für die Auslösung von Hautkrebs verantwortlich gemacht; es besitzt die größte cancerogene Wirkung Eine intakte stratosphärische Ozonschicht absorbiert λ < 290 nm stark
UV-**C**	280 ··· 100 nm	Biologisch stark schädigend: Keimabtötend. Wird für die Auslösung von Hautkrebs verantwortlich gemacht. (Der äußerst energiereiche Bereich von 200 [oder 180] ···100 nm [und darunter] wird als „Vakuum-UV" bezeichnet und meist aus der Betrachtung ausgeklammert: Luft absorbiert nämlich λ < 190 nm stark. Dabei entsteht jedoch Ozon !)

Zusätzlich zu den in der Tabelle erwähnten **Hautschädigungen** (vor allem Hautkrebs) sind noch die Photoalterung und Pigmentveränderungen der Haut (vorzeitige Hautalterung, Fleckenbildung) zu nennen.

Akute Hauteffekte und -schädigungen (Erytheme etc) treten 6 bis 12 Stunden verzögert nach der Exposition auf (vgl Sonnenbrand). Die Exposition gegenüber **photosensibilisierenden Stoffen** (Photoallergene, zB p-Aminobenzoesäure, Sulfanilamid, bestimmte Medikamente) erhöht die UV-Empfindlichkeit der Haut stark.

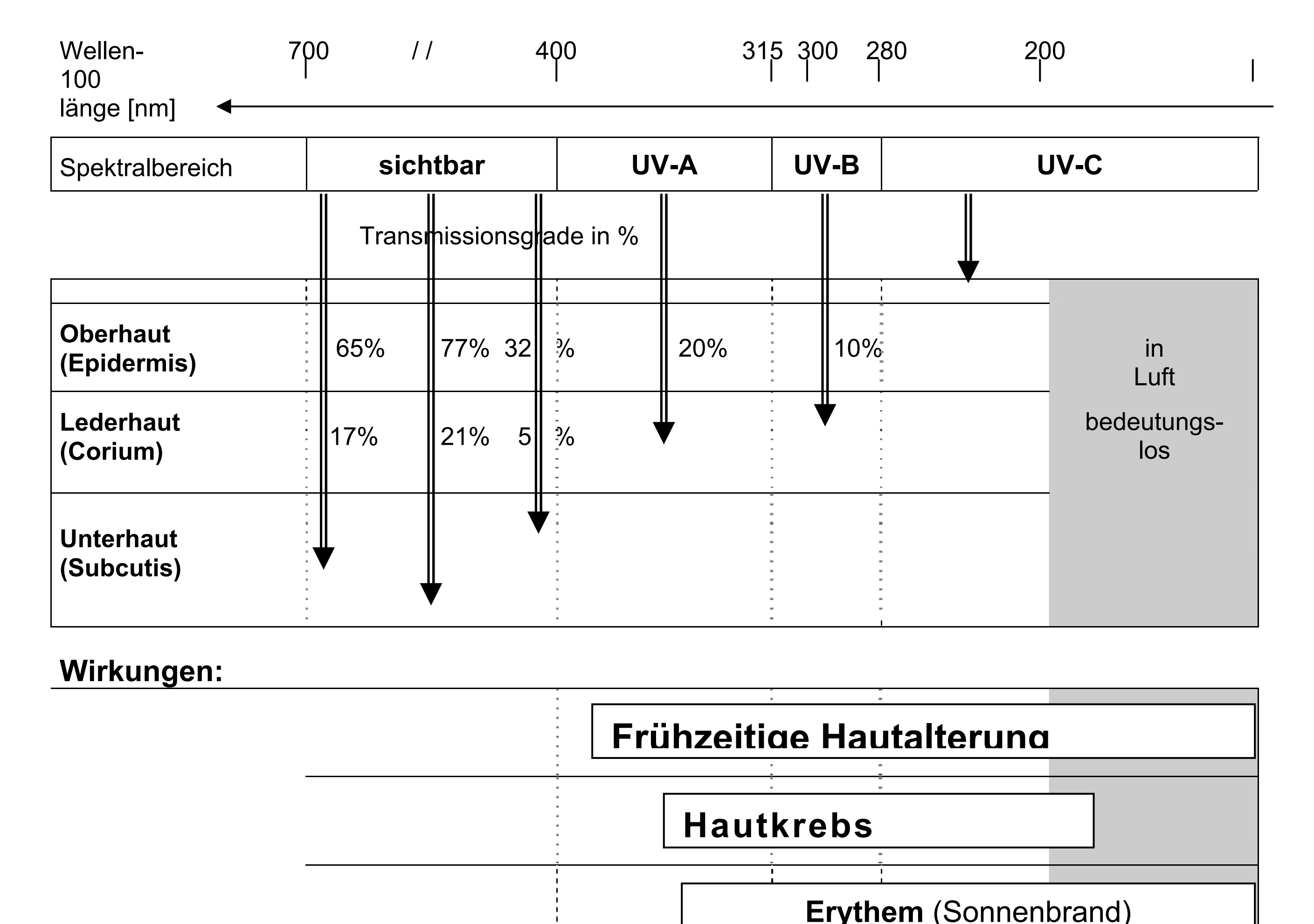
Die Grenzen zwischen UV und ionisierender Strahlung sind fließend.

Von einigen AutorInnen wird eine ionisierende Wirkung noch im UV-C angenommen oder beobachtet. Dies ist im Zusammenhang mit der krebserzeugenden Wirkung von UV interessant.

24.4.2 Wirkung von UV auf die Haut

Das nachfolgende Schema zeigt die Eindringtiefen von UV-Strahlung in die menschliche Haut und die hauptsächlichen Schädigungswirkungen abhängig von der Wellenlänge.

Die **Pfeilspitzen** symbolisieren die typische Eindringtiefe. Die **%-Werte** geben den **Transmissionsgrad** für die jeweils durchdrungene Hautschicht an



24.4.3 Gefahr mit dem Auge nicht erkennbar

UV-Strahlung ist für das menschliche Auge *unsichtbar.* Manchmal wird im Zusammenhang mit UV-Strahlern blaues Licht wahrgenommen. Dieses ist eine vom Strahler emittierte *Begleitstrahlung* am Ende des sichtbaren Bereichs. **Das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein sichtbaren blauen Lichtes bei UV-Strahlern lässt *keinerlei* Schlüsse auf die Gefährlichkeit oder Intensität der UV-Strahlung zu !**

Die Gefahr durch UV-Lampen wird dadurch größer, dass die Lampen (Strahler) häufig schlecht gekennzeichnet sind. Aus dem ohnehin kleinen Typenfeld ist oft nicht eindeutig erkennbar, welchen Wellenlängenbereich die Lampe emittiert.

Eine besondere Gefahr bildet hierbei der Tausch einer defekten UV-Lampe gegen eine „gerade im Lager vorrätige“ UV-Lampe. Wegen der möglichen dramatischen Wirkungen für Augen und Haut muss in Zweifelsfällen beim Hersteller nachgefragt oder im zutreffenden Firmenkatalog nachgeschaut werden.

24.4.4 Schädigung der Augen

Für das Auge ist das kurzwellige UV (UV-B und UV-C) besonders gefährlich. Die Energie dieser Strahlung wird vorwiegend von der Oberfläche der Hornhaut absorbiert und bewirkt bereits nach *kurzer* Bestrahlungsdauer Horn- und Bindehautentzündungen, die allerdings in der Regel erst nach 4 – 8 Stunden oder noch später auftreten — *während der Exposition fehlt jede Warnung !* Der nicht absorbierte Teil des kurzwelligen UV (und das UV-A) dringen bis zur Linse vor und verursachen dort irreversible Schäden (Linsentrübung = grauer Star!).

UV-B ist bei kurzer Einwirkdauer noch schädlicher für das Auge als UV-C. Chronische UV-Einwirkung kann zur Trübung der Augenlinse (grauer Star; durch UV-A/B) und zu Netzhautveränderungen (Verminderung des Farb- und Nachtsehens) führen. Auch das Risiko einer krebsartigen Bindehautentartung besteht.

24.4.5 Halogenlämpchen nur mit Abdeckglas verwenden

Die in den letzten Jahren in Mode gekommenen Schreibtischlampen und Dekorationsbeleuchtungen, die mit 12 V-Halogenglühlampen bestückt sind, emittieren (wegen des Lampenkolbens aus Quarz und der höheren Wendeltemperatur) – **wenn sie kein Abdeck-Glas aufweisen** – biologisch stark wirksame UV-Anteile. Die untersuchten Lampen (im Abstand von 30 cm) ohne Abdeckglas **überschritten** schon nach etwa **1 Stunde** den 8-h-Grenzwert zur Vermeidung von *akuten Wirkungen.* Lampen mit Abschirmglas zeigen eine Überschreitung erst nach 12 bis 60 Stunden.

Literatur zB: UV-Strahlung von Halogen-Glühlampen, Amtl. Nachrichten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz [Dortmund] 1/1992, 4–6.

- Für Schreibtisch- und Leseleuchten sollen ausschließlich **Halogenlampen mit Abschirmglas** verwendet werden.
- Halogenlampen **ohne Abschirmglas** sollen nur dort verwendet werden, wo ein Abstand von **mindestens 1,2 m** zu Personen gegeben ist.

24.4.6 Grenzwerte für UV-Strahlung, Schutzmaßnahmen

Eine seriöse und wohlbegründete Festlegung von UV-Grenzwerten scheitert an der noch immer sehr mangelhaften Kenntnis über chronische und akute Wirkungen verschiedener Frequenzbereiche und an den großen interindividuellen Unterschieden (zB Hauttyp, Zusatzbelastungen, andere Faktoren ...). Auch über die Adaptionsmechanismen des Menschen liegen keine ausreichenden Informationen vor. Die Frage, ob sich bei der Dosiskumulation über die Lebenszeit intermittierende Expositionen und akute Überdosierungen besonders stark schädigend auswirken, ist strittig.

Neuere Studien lassen vermuten, dass schon **sehr geringe chronische UV-Expositionen,** weit unterhalb vorgeschlagener Grenzwerte, Gesundheitsgefahren bewirken können. Es erscheint möglich, dass die UV-Strahlung keinen Schwellenwert hat, bei dessen Unterschreitung die Dosis unschädlich wäre.

Den Wissensstand stellten J. ECKERT etal, Zentralblatt für Arbeitsmedizin 43, 78 – 93 (7993), sowie die Beiträge im Bundesgesundheitsblatt [Berlin], 37, Sonderheft Oktober 1994, zusammen.

Für Laborarbeiten sind UV-Grenzwerte zum Glück nicht erforderlich. Als Regel muss nämlich gelten, **die UV-Exposition so niedrig wie möglich halten.** Dies erfolgt durch

- Vermeiden von offener UV-Strahlung
- Verwenden von UV mit möglichst großer Wellenlänge,
- Abschirmen (Fensterglas schwächt bzw absobiert UV-B und UV-C)
- Die Expositionszeit minimieren
- Haut- und Augenschutz (UV-Schutzcreme, geeignete Handschuhe, UV-Schutzbrillen)

24.4.7 Indirekte Schädigungsmöglichkeit im Zusammenhang mit UV:

Indirekte Gefahrenquellen sind:

- die mögliche photochemische Reaktion von **chlorierten Verbindungen** (Lösungsmitteldämpfe) zu **Phosgen** und
- die Entstehung von **Ozon** in gefährlichen Konzentrationen vor allem durch kurzwelliges UV (λ < 200 nm). In diesem Fall muss der Arbeitsraum gut belüftet werden. Die Quecksilberdampflampe stellt mit einer starken Linie bei 185 nm einen Hauptverursacher für die Ozonbildung dar.

24.5 Laserstrahlung (IR, sichtbar, UV)

Siehe dazu Abschnitt 8.3 in SICHER ARBEITEN, insbesondere bzgl der Schutzmaßnahmen.

Bei IR- und UV-Lasern ist die Gefahr unsichtbar ! Bei IR-Lasern ist manchmal nur ein schwacher roter Punkt sichtbar, während die intensive Strahlung unsichtbar bleibt. IR-Laserstrahlung durchdringt das geschlossene Augenlid! IR-Laserstrahlung wird auch von mattem Metall gespiegelt.

Laserstrahlung zeichnet sich vom Standpunkt der Arbeitssicherheit durch ihre **enorm hohe Leistungsdichte** aus; sie kann – bei entsprechender Leistung – augenblicklich zu massivsten biologischen Schädigungen va an Augen und Haut führen. Die Linse des **Auges** kann die eingestrahlte Leistungsdichte um den Faktor 10^6 erhöhen !

Aus der hohen Leistungsdichte folgt weiters die **Zündgefahr** durch Laserstrahlung.

Bis Ende 2003 wurden Laser nach zunehmender Gefahr für Auge und Haut wie folgt in Laserklassen eingeteilt:

Laser-Klasse 1 (alt)

Laser der Klasse 1 sind Laser mit so geringer Leistung, dass eine Bestrahlungsdauer von 1000 Sekunden bzw 8 Stunden als ungefährlich angesehen wird. Ihre Einstufung als „völlig sicher“ stammt nur daher, dass der Laser zusätzlich **gänzlich ummantelt** und so eingebaut sein muss, dass auch bei Service- und Wartungsarbeiten keine Laserstrahlung austreten kann. Maximalleistung üblicherweise < 1 µW.

Daher sind keine Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

Laser-Klasse 2 (alt)

Laser der Klasse 2 sind Laser im sichtbaren Bereich (400 — 700 nm) und haben eine Maximalleistung von **1 mW** (max. Leistungsdichte ≤ 25 W/m²).

Ihre relative Sicherheit beruht auf dem menschlichen **Lidschlussreflex** (Auslösezeit 0,25 s). Eine Einwirkungsdauer von 0,25 s auf das Auge gilt als ungefährlich. (Achtung: unter bestimmten physiologischen Bedingungen ist der Lidschlussreflex verlangsamt [bestimmte Medikamente, Drogen].]

Schutzmaßnahme: ***Nicht in den Strahl blicken !***

Laser-Klasse 3A (alt)

Die Lichtausgangsleistung dieses Lasers darf **max. 5 mW** betragen. Diese Laserstrahlung ist möglicherweise gefährlich. **Jedenfalls gefährlich ist sie, wenn Sammellinsen, Konkavspiegel udgl** – zB für Justierarbeiten – **in den Strahlengang gebracht werden** oder der Laserstrahl unbeabsichtigt auf solche fällt !

Schutzmaßnahme:
Nicht in den Strahl blicken !
Keine konzentrierenden optischen Anordnungen verwenden oder im Raum bereithalten !

Laser-Klasse 3B (alt)

Alle Wellenlängenbereiche; der Laser hat eine Ausgangsleistung von **max. 0,5 W** (Dauerstrahl). Leistungsdichte > 25 W/m^2. **Die Bestrahlung des Auges mit einem Laser der Klasse 3B ist immer gefährlich,** bei leistungsstärkeren Lasern dieser Klasse auch die Bestrahlung der Haut. **Sogar der an einer Oberfläche mittleren Reflexionsgrades** ***diffus*** **gestreute Strahl ist bis zu einem Abstand von 13 cm von der Streufläche noch gefährlich ! — Brandgefahr** und/oder Bildung **schädlicher Gase/Dämpfe** beim Auftreffen auf entsprechende Stoffe.

Laser-Klasse 4 (alt)

Sie umfasst alle anderen Laser, insbesondere mit mehr als 0,5 W Ausgangsleistung.

Der reflektierte sowie auch der *diffus gestreute* Strahl sind – auch über große Entfernungen – **für Auge und Haut gefährlich.** Durch die Strahlung besteht stets Entzündungs- und Brandgefahr.

2001/2002 wurde eine NEUE KLASSIFIKATION der Laser international eingeführt:

Die Einführung der neuen technischen Normen wurde mit 1.1.2004 abgeschlossen. Dennoch wird man auf Geräten noch viel Jahre auch den alten Laserklassen begegnen.

Zuordnungstabelle						
Norm	Klassifizierung					
ALT: EN 60825-1 Ausgabe 06.1997	Klasse 1 ↓	Klasse 2 ↓	Klasse 3A ↓	Unterklasse $3B^{teil}$ der Klasse 3B ↓	Klasse 3B inklusive Klasse $3B^{teil}$ ↓	Klasse 4 ↓
NEU: EN 60825-1+A11+A2, Ausgabe 01.2002	**Klasse 1**	**Klasse 2**	**Klasse 1M** **Klasse 2M**	**Klasse 3R**	**Klasse 3B** (exklusive Klasse 3R)	**Klasse 4**

Die seit 2004 anzuwendenden Laserklassen sind in aufsteigender Gefährlichkeit:

Neue **Laser-Klasse 1**
Unverändert zur alten Klasse 1 (siehe oben).

Neue **Laser-Klasse 1M**

“**M**” steht für “**Magnifying**”, bedeutet so viel wie „Vergrößerung“ oder „Verstärkung” und weist darauf hin, dass die Lasereinrichtungen gegenüber Lasern der Klasse ohne „M“ bei der Benutzung von optischen Geräten (Lupe, Mikroskop, Fernrohr, Konkavspiegel, nicht aber Brillen zur Korrektur von Fehlsichtigkeit) gefährlich sein können.

Wellenlängenbereich 302,5 – 4000 nm. **Kann bei Verwendung konzentrierender optischer Geräte gefährlich werden.**

Neue **Laser-Klasse 2**
Unverändert zur alten Klasse 2 (siehe oben).

Neue **Laser-Klasse 2M**
Wellenlängenbereich 400 – 700 nm (sichtbar); ohne Verwendung konzentrierender optischer Geräte bei Einwirkung bis 0,25 s für das Auge ungefährlich.
Kann bei Verwendung konzentrierender optischer Geräte gefährlich werden.

Neue **Laser-Klasse 3R**

“**R**” steht für “**Relaxiert**” und bedeutet so viel wie “gelockerte Vorkehrungen”. Dies weist darauf hin, dass für die Lasereinrichtungen weniger strenge Vorkehrungen festgelegt sind als für die andere Untergruppe der Klasse 3, die zur Unterscheidung als „Klasse 3B“ bezeichnet wird.

Wellenlängenbereich 302,5 – 1 000 000 nm. Die Strahlungsleistung ist auf das 5-fache des Grenzwertes für Klasse 1 (bzw bei 400 – 700 nm für Klasse 2) begrenzt. Das Gefahrenpotenzial dieser Laser ist daher wesentlich geringer als in Klasse 3B.

Ein direkter Blick in der Strahl kann gefährlich sein.

Neue **Laser-Klasse 3B** (der Buchstabe „B“ dient nur zur Unterscheidung von „R“)

Alle Wellenlängenbereiche. Der Laser hat eine Ausgangsleistung von **max. 0,5 W** (Dauerstrahl). Leistungsdichte > 25 W/m^2.

Die Bestrahlung des Auges mit einem Laser der Klasse 3B ist immer gefährlich, bei leistungsstärkeren Lasern dieser Klasse auch die Bestrahlung der **Haut**. Dies gilt selbstverständlich auch für reflektierte Strahlen. **Sogar der *diffus* gestreute Strahl ist bis zu einem Abstand von 13 cm von der Streufläche noch gefährlich !** — **Brandgefahr** und/oder Bildung **schädlicher Gase/Dämpfe** beim Auftreffen auf entsprechende Stoffe.

Neue **Laser-Klasse 4**
Unverändert zur alten Klasse 4 (siehe oben).

Laserschutzbeauftragte/r *(laser safty officer)***:** Ein/e ausgebildete/r und geprüfte/r Laserschutzbeauftragte/r ist beim Betrieb eines Lasers der Klasse 3R (unsichtbare Strahlung) sowie der Klassen 3B oder 4 erforderlich.

<u>Unvollständige Auswahl von Schutzmaßnahmen:</u>

- Betriebsanleitung der Laser-Einrichtung besorgen und genau beachten.
- Beachten, ob UV- oder IR-Begleitstrahlung entsteht, oder Röntgenstrahlung (möglich, wenn Anregungsröhre > 5 kV)
- Laser-Einrichtungen der Klassen 1M, 2M, 3R, 3B und 4 dürfen nur von Personen mit angemessener Ausbildung bedient werden, die am Gerät geschult sind.

<u>Bei „offener“ Anwendung von Laserstrahlung:</u>



Warnung vor Laserstrahl

- An der Zugangstür müssen das Laser-Warnsymbol und allenfalls weitere Warnhinweise vorhanden sein. Eine Warnleuchte vor der Tür muss den Betrieb anzeigen.
- Falls die Tür nicht verriegelt ist oder keine besondere Zugangskontrolle besteht: Laser der Klasse 3B und 4 werden beim Öffnen der Tür ausgeschaltet.
- Möglichst keine hellen Gegenstände und Flächen im Raum.
- Der Laserbereich beschränken. Den Strahlengang möglichst einschließen! Freier Strahl nicht in Augenhöhe!
- Reflektierende Werkzeuge vermeiden! Keinen Schmuck / Uhren tragen!
- Tragen Sie eine <u>für die verwendete Laser-Wellenlänge *geeignete*</u> Laserschutzbrille.

25 Arbeiten beim Auftreten ionisierender Strahlung

Die Abschnitte 8.1 und 8.2 in SICHER ARBEITEN enthalten die Informationen über die

Regeln betreffend den Umgang mit ra. (= radioaktiven) Stoffen

Schutz gegen äußere Bestrahlung

Schutz vor Kontamination

Arbeiten mit Röntgenstrahlung

Die folgenden Ergänzungen dazu sind – auf Basis der österreichischen Rechtslage – etwas ausführlicher gehalten, weil an manchen Instituten selbst zentrale Schutzbestimmungen der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung (AllgStrSchV), BGBl II Nr 191/2006, kaum bekannt sind.

Elektromagnetische Strahlung mit $\lambda \leq 91$ nm gilt als ionisierend; diese Wellenlänge entspricht einer Photonenenergie von 13,6 eV. Dies ist eine eher willkürliche Grenze.

25.1 Schädigungswirkung

Ionisierende Strahlung ist *grundsätzlich* gesundheitsschädlich und kann auch in niedrigen Dosen (nach uU langer Latenzzeit) **zum Auftreten einer Krebserkrankung führen.** Ebenso kann sie **Schädigungen verursachen,** die erst **in späteren Generationen sichtbar** werden**.**

Einen „Schwellenwert“, unter dem eine Dosis ionisierender Strahlung ungefährlich wäre, *gibt es nicht.* (Die natürliche Strahlenbelastung kann nicht als Argument dienen, denn sie stellt eine natürliche Gesundheitsbelastung dar, die gleichfalls zu Schädigungen führt.) Die Situation ist somit grundsätzlich ähnlich jener bei krebserzeugenden Substanzen.

Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten **Grenzwerte** für die „zulässige“ Strahlenbelastung **schließen eine Gesundheitsschädigung nicht aus***.* Sie sind eine Übernahme der Werte, die die „Internationale Strahlenschutzkommission“ (ICRP) empfohlen hat, nachdem sie „Risiko“ und „Nutzen“ der Atomtechnologie aus ihrem Blickwinkel abgewogen hat: “The Commission believes that this level provides reasonable latitude for the expansion of atomic energy programms in the foreseeable future.“

(ICRP Publication 9: Recommendations of the ICRP on Radiological Protection, 1965, Punkt 83.)

25.1.1 Exkurs: Der historische und gesellschaftliche Charakter bestimmter Grenzwerte

Wie man sieht, handelt es sich bei den Radioaktivitätsgrenzwerten um sog. „politische Werte", dh um solche, denen eine gesellschaftliche Wertung in einer bestimmten Zeit zugrunde liegt. Sie stellen keine wissenschaftliche Aussage dar, sondern repräsentieren einen gesellschaftlichen Entscheid, der beispielsweise besagt:

Die Gemeinschaft akzeptiert(e) eine Zahl von X Krebserkrankten und X' erblich Geschädigten als Begleiterscheinung einer bestimmten Technologie in den nächsten x Jahrzehnten, um dafür einen Nutzen Y (zB y Millionen kWh Elektrizität) zu erhalten.

Für eine solche Entscheidung gibt es keine Naturgesetze, sie stellt keine Anwendung von Naturwissenschaft oder Technik dar, sie ist nicht das Tätigkeitsfeld einer Berufsgruppe, die kraft ihres Spezialwissens zum Entscheiden prädestiniert wäre.

Es handelt sich vielmehr um das Ergebnis einer Abwägung dessen, was die Gesellschaft oder die menschliche Kultur als „Nutzen" ansehen, und dem, was sie als „Kosten" (Schaden, Risiko) in Kauf nehmen woll(t)en. Da praktisch alle Mitglieder der Gesellschaft die Risiken der Entscheidung zu tragen haben und möglicherweise auch in den Genuss des Nutzens kommen, wäre die Entscheidung durch alle Mitglieder der Gesellschaft zu treffen (dies entspräche dem Grundkonsens einer demokratischen Gesellschaft).

Die Entscheidung ist ihrer Art nach somit eine **politische,** weil sie eine gesellschaftliche Wertung vornimmt. Gerade auch NaturwissenschafterInnen sollen und können dies nicht ignorieren. Die Funktion der (Natur)Wissenschaft in diesem Wertungsprozess könnte sein, dem gesellschaftlichen Diskussionsprozess wahrheitsgetreue (!), zuverlässige sowie verständliche Informationen über die Risiken X und den Nutzen Y zu bieten.

In der realen Geschichte kommen politische Expositionsgrenzwerte (ebenso wie eine Weichenstellung zur Anwendung/Nichtanwendung/Beschränkung einer Technologie, vgl Reproduktionstechnologien, Gentechnik,...) häufig **nicht** nach einer **demokratischen** Diskussion und nicht durch demokratische Entscheidung zustande. Vielmehr versuchen wirtschaftlich, finanziell oder sonst mächtige Lobbying-Gruppen, die zu treffende Entscheidung **ihrer** Interessensabwägung unterzuordnen. Dies gelingt dann, wenn sich die Betroffenen (und deren VertreterInnen) *nicht* ausreichend einmischen und in der Öffentlichkeit die gegensätzlichen Interessen nicht ausreichend bewusst machen.

Grundsätzlich analoge Situationen wie bei den Radioaktivitätsgrenzwerten finden wir

- bei den **TRK-Werten** (Technische Richtkonzentrationen) für krebserzeugende Stoffe im Arbeitsprozess (siehe Abschnitt 10.4.1 in SICHER ARBEITEN);
- bei den **Trinkwassergrenzwerten** für gesundheitsschädliche Verunreinigungen;

  Bemerkenswert ist: In den USA wird beispielsweise bei der Festlegung der **Höchstkonzentrationen krebserzeugender Verunreinigungen im Trinkwasser** öffentlich das den Grenzwerten zugrundegelegte vermutete Risiko verlautbart. Dabei wird veröffentlicht, **wie viele zusätzliche Krebs-Todesfälle pro Million Personen,** die eine durchschnittliche Menge dieses Trinkwassers konsumieren, **als akzeptabel angenommen werden** (Zumeist sind das 10 Krebstote pro 1 Million KonsumentInnen). Dies ist eine **offengelegte** politische Entscheidung. Sie versteckt sich nicht hinter vorgeblich „wissenschaftlichen" Gründen und kann von den Betroffenen und der Bevölkerung sachlich – in diesem Fall heißt das: politisch – diskutiert werden.

- bei den **Pflanzenschutzmittelhöchstkonzentrationen** in Lebensmitteln;
- in der Debatte um **UV-Grenzwerte**, usw.

- Auch die Entscheidung, ob, unter welchen Sicherheitsvorkehrungen und in welchem Umfang die **Gentechnik** entwickelt / angewandt werden soll, gehört zum Teil hierher.

25.2 Das Minimierungsgebot

Jede Einwirkung ionisierender Strahlung auf den Körper ist daher so gering wie möglich zu halten.

„So gering wie möglich“ bedeutet, dass *alle* technischen und organisatorischen Maßnahmen angewandt und ausgeschöpft werden müssen.

Das bedeutet zum Beispiel,

- **dass sich** *keine* **Personen, die nicht unbedingt für die Arbeit benötigt werden, in Bereichen, wo sie gegenüber Strahlung exponiert sein können, aufhalten dürfen** (zB Zuschauen),
- **dass Gefäße oder Geräte** (zB Gel-Elektrophorese), **auch wenn sie „nur wenig“ ra. Stoffe enthalten,** *nicht* **unabgeschirmt im ständigen Arbeitsbereich oder gar im Bereich des Schreibplatzes stehen dürfen,**
- **dass Behälter mit radioaktiven Abfällen** *nicht* **auf Verkehrswegen oder an Orten abgestellt werden dürfen, an denen Vorbeigehende oder Wartende eine** (wenn auch nur „geringe“) **Strahlendosis erhalten könnten.**

25.3 Die Strahlenschutzverordnung

Für Arbeiten mit oder im Bereich von ionisierenden Strahlen sind — auch an den Universitäten — das **Strahlenschutzgesetz** und die **Strahlenschutzverordnung** einzuhalten. Die **Allgemeine Strahlenschutzverordnung** (BGBl II Nr 191/2006) ist mit den Tabellen, die in ihren Anlagen enthalten sind, ein relativ umfangreiches Regelwerk. Sie enthält ua genauere Vorschriften über:

- Begriffsbestimmungen, zB Definition der „beruflich strahlenexponierten Person“:
  Als **beruflich strahlenexponierte Person** gilt eine Person (StudentIn), wenn sie im Rahmen ihrer Tätigkeit über einen Zeitraum eines Jahres einer Exposition ausgesetzt sein kann, bei der eine effektive Dosis von 1 Millisievert überschritten werden kann.

  Schwangere sowie stillende Mütter dürfen nicht als strahlenexponierte Personen tätig werden !

- Bewilligungspflichtiger Umgang mit ra. Stoffen: Eine Bewilligung ist erforderlich, wenn die in Anlage 1 Tabelle 1 Spalte 2 der AllgStrSchV genannten Aktivitäten (= „**Freigrenze**“) überschritten werden; zB 10^9 Bq für H-3, 10^5 Bq für P-32.

1 µCi ≅ 37 000 Bq

- Sobald die Bewilligungsgrenze überschritten ist, muss ein/e **Strahlenschutzbeauftragte/r** bestellt sein.
- Aufgaben und Qualifikation und Fortbildung der/s Strahlenschutzbeauftragten

- Höchstzulässige Bestrahlungsdosen für „beruflich strahlenexponierte Personen“ sowie für die Normalbevölkerung
- Dosimeter-Tragepflicht
- Pflicht zur regelmäßigen Kontaminationskontrolle
- Pflichten zur Führung von Aufzeichnungen
- Röntgeneinrichtungen und Betriebsvorschriften für Röntgeneinrichtungen
- Strahlenschutzkleidung
- Ra. Stoffe (umschlossene – offene)
  Kennzeichnung – Aufbewahrung – Beförderung
  Vorgehen bei Dekontamination (Hinweise auch in Abschnitt 25.6)

Informieren Sie sich vor der Planung und Aufnahme von Arbeiten mit ionisierender Strahlung über die einzuhaltenden Schutzvorschriften direkt in der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung !

Fragen Sie nach dem Namen des/der **Strahlenschutzbeauftragten** und besprechen Sie sicherheitsrelevante Fragen und Schutzmaßnahmen mit ihm/ihr !

25.4 Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen

(§§ 67 – 73 Allgemeine Strahlenschutzverordnung)

Bei Versuchen müssen die Aktivität und die Radiotoxizität der Stoffe sowie die Strahlenbelastung und die Gefahr einer Kontamination (Verschütten, Staubbildung, Freiwerden von Dämpfen ...) **so gering wie möglich gehalten werden.**

Ra. Stoffe dürfen nur in den für den Arbeitsfortgang erforderlichen Mengen am Arbeitsplatz vorhanden sein und dort **nicht längere Zeit als nötig** stehen.

Offene ra. Stoffe dürfen **nicht mit der bloßen Hand berührt** werden. Wenn ra. Luftverunreinigungen freiwerden könnten, muss im **Abzug** gearbeitet werden, sofern nicht weitergehende Schutzmaßnahmen nötig sind.

Zweckentsprechende Schutzkleidung und Schutzausrüstung (zB Schutzhandschuhe, Kopfbedeckungen, undurchlässige Schürzen ...) müssen verwendet werden. Sie sind regelmäßig auf Kontamination zu prüfen. Straßenkleidung muss außerhalb des Arbeitsraumes abgelegt und aufbewahrt werden.

Bei Hautverletzungen oder Hautschäden, die die Schutzfunktion der Haut gegen die Aufnahme ra. Stoffe herabsetzen, darf mit offenen ra. Stoffe **auch mit** *Handschuhen* nicht gearbeitet werden (§ 68 Abs 4 Allg. Strahlenschutzverordnung).

Verringern Sie durch **Abschirmungen** und Abstand-Halten die Exposition möglichst weitgehend.

Vorsicht: **Bleiabschirmungen** können selbst zur Gefahrenquelle werden:

- Die β-Strahlung zB von P-32 oder S-35 erzeugt in Schwermetallen wie Pb gefährliche Bremsstrahlung (Röntgenstrahlung). Für solche Strahlung darf keinesfalls ein Schutzschild aus (durchsichtigem) Pb-Arcryl-Kunststoff verwendet werden.
- Ein herabfallender Bleiziegel kann Quetschungen und Knochenbrüche verursachen.

- Bei beschädigter Schutzlackierung kann Blei auf die Hände gelangen und weiters durch Berühren des Mundes, der Augen usw in den Körper aufgenommen werden. Ebenso ist mit Bleikontaminationen überall dort zu rechnen, wo Bleiziegel etc gestanden sind oder herumgeschoben wurden. Derartige Flächen sind gründlich zu reinigen !
- Offene ra. Stoffe sind mit dem Strahlenwarnzeichen zu **kennzeichnen** und dürfen auch innerhalb des Institutes nur gekennzeichnet und nur in bruchsicheren (Über)Gefäßen **befördert** werden, die die α- und β-Strahlung zur Gänze absorbieren und die übrige Strahlung zumindest auf eine erlaubte Dosisleistung reduzieren (§ 55 Allgemeine Strahlenschutzverordnung).



Warnung vor radioaktiven Stoffen oder ionisierenden Strahlen

25.5 Anforderungen an Arbeitsplätze für offenes radioaktives Arbeiten

Die Allgemeine Strahlenschutzverordnung (Anlage 11) legt die **Aktivitätsgrenzen** für die Zuordnung der Arbeiten zu den Arbeitsplatztypen fest. Die folgende Tabelle gibt diese Grenzen als Vielfache der „Freigrenzen“ (siehe 25.3) auszugsweise für übliche chemische Arbeiten mit der Gefahr des Verschüttens oder des Freiwerdens ra. Luftverunreinigungen wieder:

	Erlaubte Aktivität in Bq *)		
Art des Umgangs	Arbeitsplatz		
	Type C	Type B	Type A
Arbeiten mit möglicher Staubfreisetzung	nicht erlaubt	$(1 \cdots 10^3) \cdot FG$	$> 10^3 \cdot FG$
Verfahren auf nassem Weg mit Gefahr des Verschüttens; Arbeiten mit flüchligen ra. Stoffen	$(1 \cdots 10) \cdot FG$	$(10 \cdots 10^4) \cdot FG$	$> 10^4 \cdot FG$

*) FG = Freigrenze für das jeweilige Radionuklid (siehe oben in 25.3).

25.5.1 Arbeitsplätze der **Type C** = Niedrigste Schutzstufe

(§ 70 Allgemeine Strahlenschutzverordnung)

Anforderungen:

Kennzeichnung mit Strahlenwarnzeichen; Zutritt nur für Befugte

Glatte Fußböden, Wände und Einrichtungsgegenstände

Widerstandsfähige, flüssigkeitsdichte Arbeitsflächen

Geeignete Waschgelegenheit

Gekennzeichnetes Dekontaminationsbecken

Regelmäßige Kontaminationsprüfung

- In Räume mit C-Arbeitsplätzen dürfen keine Lebensmittel, Medikamente, Kosmetika oder Rauchwaren eingebracht werden.
- In diesen Räumen müssen Papiertaschentücher und Papierhandtücher verwendet werden; sie sind nach Gebrauch mit dem festen ra. Abfall zu sammeln.

- In diese Räume dürfen weiters keine Geräte und keine sonstigen Gegenstände eingebracht werden, die nicht für die Durchführung der Arbeiten erforderlich sind.
- Geräte etc dürfen von den Arbeitsplätzen nur so entfernt werden (dh dekontaminieren !), dass sie außerhalb keine Kontamination verursachen.

Reinigungsgeräte für solche Räume dürfen nicht in anderen Räumen verwendet werden.

25.5.2 Arbeitsplätze der **Type B**

(§ 71 Allgemeine Strahlenschutzverordnung)

Anforderungen zusätzlich zu den Bestimmungen für die Type C:

Einrichtung von B-Arbeitsplätzen nur in eigenen, diesem Zweck dienenden Räumen
Widerstandsfähiger und flüssigkeitsdichter Fußboden

Abwaschbare, undurchlässige Wände bis 3 m Höhe

Arbeiten mit der Gefahr der Luftkontamination müssen in Handschuhboxen mit Unterdruck ausgeführt werden.

Verwendung von langstieligen Handgeräten bzw Manipulatoren

Arbeitskleidung und Schutzausrüstung darf nicht außerhalb der zugehörigen Räume getragen werden.

25.5.3 Arbeitsplätze der **Type A** = Höchste Schutzstufe

(§ 72 Allgemeine Strahlenschutzverordnung)

Anforderungen zusätzlich zu den Bestimmungen für die Type B:

Die Wände dürfen Flüssigkeiten nicht absorbieren.

Die Räume dürfen nur über Umkleideräume mit Duschen zugänglich sein.

Die Räume müssen Unterdruck gegenüber benachbarten Räumen aufweisen.

Die Arbeitsplätze sind auch außerhalb der Arbeitszeit zu überwachen.

25.6 Kontaminationen

(§§ 57 ff. Allgemeine Strahlenschutzverordnung)

Ra. Kontaminationen sind mit dem Strahlenwarnzeichen und dem Zusatz „KONTAMINATION“ zu kennzeichnen. Erforderlichenfalls (Fußboden, Fläche ...) ist der Gefahrenbereich (zB mit Flatterbändern) **abzusperren.** Größere Kontaminationen und solche, die nicht leicht oder nicht vollständig zu beseitigen sind, **sind dem/der Strahlenschutzbeauftragten** und den in der Einrichtung verantwortlichen Leitungspersonen **zu melden**. An der Dekontamination dürfen nur hierin unterwiesene Personen mitwirken, die die erforderliche Schutzausrüstung tragen.

26 Gefahren durch starke magnetische Felder

Starke magnetische Felder treten vor allem in der Umgebung bestimmter analytisch-chemischer Großgeräte auf, zB bei NMR- und ESR-Geräten und Massenspektrometern mit magnetischem Analysator.

Personen (auch zufällig vorbeigehende!) mit **Herzschrittmachern** sind durch deren mögliche Störung in starken Magnetfeldern akut und lebensbedrohlich gefährdet. Gefährdende Bereiche sind daher zu vermeiden; wenn dies nicht möglich ist, sind sie entsprechend zu kennzeichnen.



Warnung vor starkem magnetischem Feld

Über die mögliche **Gesundheitsschädigung** durch statische oder niederfrequente magnetische oder elektrische Felder liegen zur Zeit keine gesicherten Erkenntnisse vor. Hinweise auf krebserzeugende Wirkung zB bei BewohnerInnen unter Hochspannungsleitungen konnten bis jetzt weder gesichert noch widerlegt werden.

Mechanische Gefährdung: Schraubenzieher, Zangen und andere magnetisierbare Gegenstände werden im starken Magnetfeld – bei supraleitenden Magneten innerhalb von ~3 m Abstand – beschleunigt und auf gefährliche Weise durch die Luft geschossen.

Statische oder niederfrequente Magnetfelder abzuschirmen, ist sehr aufwendig und schwierig. Einfachste und wirkungsvollste Schutzmaßnahme: größerer Abstand !

Grenzwerte sind in ÖNORM S 1119 (statische und niederfrequente Felder) festgelegt. Einen Überblick gibt das Merkblatt M 470 „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz“ der AUVA.
Online zugänglich unter: http://www.auva.at/mediaDB/118546.PDF

Zu den **elektrischen Feldern** bei Bildschirmen siehe Abschnitt 1.9.

27 Sichere Anwendung von Ultraschall

Ultraschall *[engl. ultrasonics]* ist Schall – dh mechanische Schwingungsbewegung – im Frequenzbereich von etwa 20 kHz bis etwa 100 kHz.

Die obere Hörschwelle des Menschen liegt bei ~ 20 kHz oder etwas darunter. Eigentlicher Ultraschall ist daher für den Menschen nicht hörbar. Es treten jedoch auch Anteile mit $\nu/2$, $\nu/3$, $\nu/4$ usw auf, die sehr unangenehm und störend hörbar werden. Wegen des Anteils mit $\nu/2$ ist bei der Anschaffung eines Ultraschallgerätes zu empfehlen, eines mit einer Arbeitsfrequenz von mehr als 40 kHz auszuwählen.

Im Labor werden **Ultraschallbäder** zum Reinigen, Auflösen, Zerkleinern von Partikeln, Beschleunigen von chemischen Reaktionen, Extraktionsvorgängen etc verwendet; in biochemischen Labors dienen **Ultraschallsonden** (Ultraschallaufschlussgeräte) auch dazu, Zellen voneinander loszureißen bzw aufzubrechen.

27.1 Wirkungsweise von Ultraschall

Bei den hier verwendeten Energien **bewirkt der Ultraschall „Kavitationen“:** In einer Flüssigkeit, die einer starken örtlichen Zugbewegung ausgesetzt ist, reißen winzige Hohlräume auf, die fast augenblicklich wieder in sich zusammenfallen. Im Moment dieser Implosion können lokal Drucke von ~1000 bar auftreten. Dadurch entstehen Knallwellen, die auf die nächste Umgebung Beschleunigungskräfte ausüben, die zur Schmutzablösung von der Oberfläche, zum Zerbrechen von Partikeln, zum Zerreißen biologischer Membranen etc führen.

27.2 Gefahren und Schädigungswirkung

27.2.1 Gefahren durch den Körperschall

Körperschall sind die durch feste Gegenstände weitergeleiteten Schwingungen.

Vermeiden Sie unbedingt den direkten Kontakt der Hand mit schwingenden Teilen (Wanne, Gehäuse, Badflüssigkeit, eingetauchten Teilen) !

In das eingeschaltete Bad nicht hineingreifen, Gegenstände im Bad nicht halten, die Wanne und das Gehäuse (das meist mitschwingt) **nicht berühren !**

Die Gründe dafür sind:

- Die Kavitationswirkung findet auch in der Gewebs- und Zellflüssigkeit der eigenen Körperzellen statt und kann Gewebe und Zellen massiv schädigen !
- Die eingebrachte Bewegungsenergie erzeugt beträchtliche Mengen an Wärme, die vom Gewebe nicht rasch genug abgeführt (und auch nicht wahrgenommen) werden können. Eine Hitzeschädigung im Gewebe wäre die Folge.

27.2.2 Gefahren durch Aerosolbildung und Verdampfung

Durch die Vibration der Flüssigkeit und der Flüssigkeits-Oberfläche werden Flüssigkeitströpfchen in großer Zahl herausgeschleudert (Aerosolbildung). Wird als Badflüssigkeit ein gesundheitsschädlicher Stoff eingesetzt, entsteht um das Ultraschallbad eine Schadstoffwolke aus Dampf und atembaren Tröpfchen !

Bei brennbaren Badflüssigkeiten kann sich zusätzlich eine **explosionsfähige Atmosphäre** (Abschnitt 19.4 und 18.5.2) bilden, deren Zündung ev. schon durch den (nicht explosionsgeschützten) Schalter des Bades selber möglich ist.

Diese Gefahren werden dadurch größer, da die Badflüssigkeit beim Betrieb erwärmt wird. Das Bad darf wegen der nötigen Wärmeabfuhr an die Flüssigkeit auch **nicht leer** betrieben werden.

Brennbare oder gesundheitsschädliche Flüssigkeiten dürfen daher *nicht* als Badflüssigkeiten verwendet werden. Die beste Badflüssigkeit ist reines Wasser.

27.2.3 Gefahren durch den Luftschall

Luftschall sind die durch die Luft weitergeleiteten Schwingungen.

Der Ultraschall gerade von Labor-Bädern ist **ausgesprochen unangenehm;** er stört und vermindert die Konzentrations- und Arbeitsfähigkeit. Er trägt wie jeder Lärm (Wasserstrahlpumpe!) zur allgemein-physiologische Lärmschädigung bei (subjektiv kaum wahrgenommene physiologische Stressreaktion), noch bevor er das Gehör schädigt.

Eine Schädigung des Gehörs aufgrund des Schalldrucks (Lärmpegel) ist nur dann zu befürchten, wenn man sich wiederholt stundenlang neben dem Ultraschallbad aufhält (irreversible Gehörschädigung). Dies stellt also keine Hauptgefahr dar!

Die Lärmemission von Ultraschall ist relativ leicht **abzuschirmen bzw abzuschwächen**. Diese Möglichkeit soll daher unbedingt genützt werden. Dies geschieht am einfachsten durch „Einhausen“, indem man das Gerät mit einem rechteckigen Mantel zB aus Faserplatten – und günstiger Weise mit innerer Dämmstoffeinlage ausgekleidet – umgibt, dessen Rand das Bad etwas überragt und es nicht berührt, um Körperschall nicht weiterzuleiten.

28 Persönliche Schutzausrüstung – Allgemeine Grundsätze

Zur **persönlichen Schutzausrüstung** für die Arbeit im chemischen Labor gehören vor allem

- die Schutzbrille (immer zu tragen) — wenn nötig Korbbrille (siehe Abschnitt 2.3.4),
- der Gesichtsschutzschirm (zu diesem ist jedenfalls zusätzlich eine Schutzbrille zu tragen),
- der Arbeitsmantel (immer zu tragen; siehe auch Abschnitt 2.1),
- der geeignete Atemschutz (zu tragen falls erforderlich; siehe Abschnitt 30),
- geeignete Schutzhandschuhe (zu tragen falls erforderlich; Abschnitt 29) und
- eine Gummischürze („Säureschürze“; zu tragen beim Umleeren großer Mengen gefährlicher Flüssigkeiten, etc

Hinzuweisen ist jedoch auf den Grundsatz (Abschnitt 1.2), dass alle Arbeiten so zu planen und zu gestalten sind, dass möglichst keine Gefährdung des menschlichen Körpers eintreten kann und daher persönliche Schutzausrüstung nicht getragen werden muss.

29 Schutzhandschuhe

Einige Informationszugäge zur Eignung von Schutzhandschuhen finden Sie zB unter:
http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/sifaweb/schutz.html#hschutz

29.1 Arten von Schutzhandschuhen

Schutzhandschuhe sind bei Arbeiten zu tragen, die mit besonderen Gefahren für die Hände verbunden sind, wenn diese Gefahren nicht vermieden werden können. Wählen Sie die Schutzhandschuhe nach der auftretenden Gefährdung aus, **da es universell einsetzbare Schutzhandschuhe *nicht* gibt.**

Es stehen unterschiedliche Schutzhandschuhe zu Verfügung, um die Hände zu schützen gegen

- **mechanische Gefahren –** zB Glasbruch – Gummihandschuhe sind *nicht* schnittfest! Schnittfeste Handschuhe sind häufig aus Leder oder besser aus synthetischen Spezialfasern, zB Kevlar®, hergestellt.

  Kevlar® ist eine in den 1960er Jahren entwickelte Para-Aramidfaser (Poly-Paraphenylenterephthal-amid), die 3 mal so schnittfest wie Baumwolle und 8 mal so schnittfest wie Leder ist.

- **thermische Einwirkung –** Hitze: Handschuhe aus Asbest sind verboten, normale Kunststoffhandschuhe sind ungeeignet; verwendet werden Handschuhe aus schrumpfarmem Spezialleder (bis 250 °C) oder aus Spezialfasern (zB Kevlar®: Dauereinsatz 250 °C, kurzzeitig bis 700 °C). Normales Leder ist nur bis 80 °C belastbar.

  Bei tiefen Temperaturen (vgl Abschnitt 8.1 Tiefkühlung) werden grundsätzlich auch die für Hitze geeigneten Handschuhe verwendet – mit der folgenden wichtigen Ausnahme: Für den möglichen Kontakt mit **tiefkalten Flüssigkeiten** (flüssige Gase wie Flüssigstickstoff, fl. NH_3, fl. FCKW, fl. Ethan) dürfen nur porendichte Handschuhe eingesetzt werden, weil Flüssiggase Poren gut durchdringen (geringe Viskosität). Die Handschuhe dürfen nicht eng anliegen, damit man sie im Notfall sehr schnell abstreifen kann.

- **chemische Stoffe** – dafür kommen Handschuhe aus diversen Kunststoffen und Kautschuk in Frage. Latex-Handschuhe, wie sie in der Medizin eingesetzt werden, schützen in der Regel gegen Mikroorganismen, werden von Lösungsmitteln und vielen Chemikalien aber rasch durchdrungen oder sogar aufgelöst.

29.2 Schutz vor chemischen Einwirkungen

Das ideale Handschuhmaterial für alle chemische Stoffe gibt es nicht !

Jedes Material wird von manchen Stoffen durchdrungen (Diffusion) oder sogar angelöst. Dies muss bei der **Auswahl** berücksichtigt werden. In vielen Fachpublikationen, Herstellerkatalogen und Hautschutzbroschüren findet man Eignungstabellen für Handschuhmaterial. Da die Tabellen oft voneinander abweichen, soll man stets in mehreren nachschauen und die Angaben kritisch vergleichen.

Auch das Sicherheitsdatenblatt für den konkreten Stoff sollte dazu genaue Angaben enthalten (siehe das Beispiel im Anhang auf Seite A2 [Punkt 8]).

Ein überblicksmäßiges Verständnis für die bessere oder schlechtere Eignung eines Handschuhmaterials erhält man bereits aus einfachen physikalisch-chemischen Betrachtungen: **Unpolare Moleküle mischen sich leichter mit anderen unpolaren Strukturen** (dh durchdringen diese leichter) **als mit polar gebauten Molekülen.**

Verschiedene Stoffe, wie zB das giftige und krebserzeugende Dimethylsulfat, können auch das „beständigste“ Handschuhmaterial relativ gut durchdringen. Mit solchen Stoffen verunreinigte Schutzhandschuhe soll man **kein zweites Mal verwenden**, sofort entsorgen!

Unproblematisch verschmutzte Handschuhe, die weiter benutzt werden können, reinigt man vor dem Ausziehen durch „Händewaschen mit den Handschuhen“ unter Fließwasser.
Ausziehen: Nach der Vorreinigung den ersten Handschuh durch Ziehen an den Fingern von der Hand entfernen. Den zweiten mit der ungeschützten Hand innen an der Stulpe fassen und, mit den Innenseite nach außen, über die Hand abziehen.

- Vor jeder Benützung Sichtkontrolle der Handschuhe auf Beschädigungen !
- Fingernägel kurz halten !
- Beschädigte oder undichte Handschuhe sofort entsorgen !
- Zusätzlich können *geeignete* **Hautschutzsalben** für die jeweilige Schädigungsgefahr sinnvoll sein. Sie können Schutzhandschuhe aber nicht ersetzen !

29.3 Weitere Anwendungshinweise

Handschuhe sollen (wie jede Schutzausrüstung) keine neuen Gefahren hervorrufen.

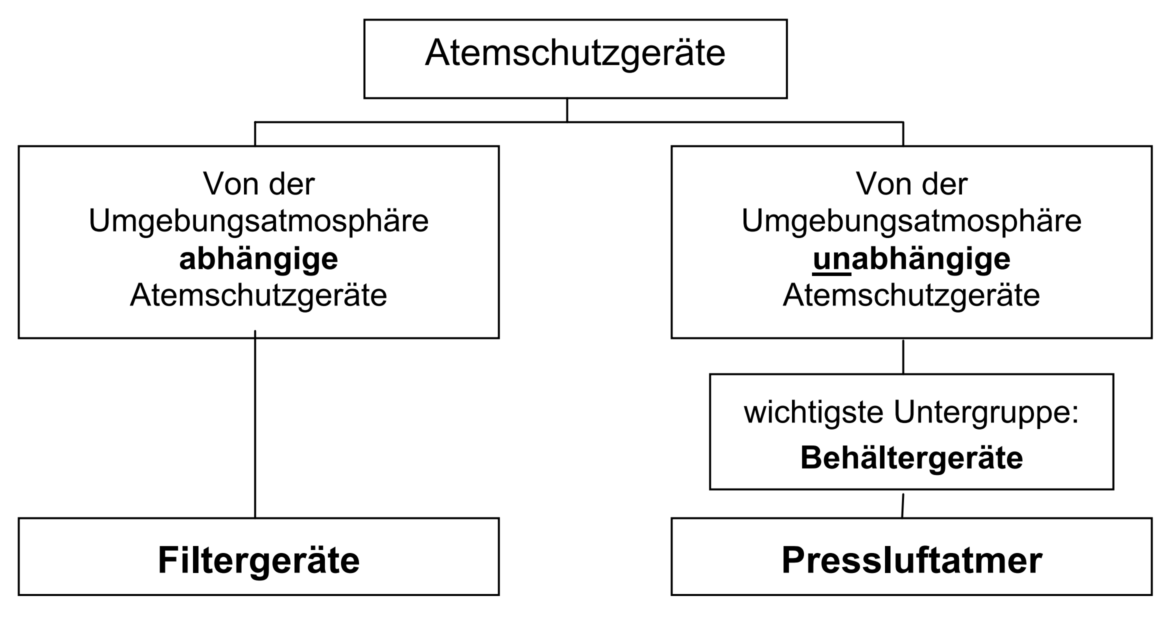
- Bedenken Sie: Die gebräuchlichen, genormten Qualitätsbedingungen der Lieferung lassen herstellungsbedingt zu, dass 1,5 % der Handschuhe undicht sind (auf der Verpackung steht: „AQL = 1,5“); in der Praxis liegt die Fehlerquote leider oft höher! Es dürfen nur Schutzhandschuhe verkauft werden, deren Verpackung mit „CE“ gekennzeichnet ist. Nur solche dürfen als Schutzhandschuhe verwendet werden.
- Die Griffsicherheit soll nicht unnötig vermindert sein. Bei gleichermaßen geeigneten Handschuhen sollen die griffsichereren genommen werden. Latex-Handschuhe gewährleisten ein relativ gutes Tastempfinden, sind aber nur gegenüber bestimmten Chemikalien beständig. — Üben Sie heikle Arbeitsgänge, die mit Schutzhandschuhen auszuführen sind, zuerst mit wassergefüllten Gefäßen etc !
- Bei längeren Handschuhen kann man die Stulpen umklappen und dadurch verhindern, dass Flüssigkeit, die am Handschuh entlang läuft, über den Arbeitsmantel bis zum Ellbogen gelangen kann.
- Das Brennverhalten des Handschuhmaterials ist vor allem bei der Arbeit mit selbstentzündlichen (zB bestimmte metallorganische Verbindungen) oder sonst sehr brandgefährlichen Stoffen zu berücksichtigen. Gummihandschuhe sind hierfür sehr schlecht geeignet, da sie leicht verschmoren und so die Brandverletzungen verschlimmern können. Unter Umständen sind Lederhandschuhe eine Alternative.

- Ein schlechter, in Wahrheit nur vorgetäuschter Schutz ist in der Regel gefährlicher als gar kein Schutz. Das trifft zum Beispiel bei nicht deklarierten Supermarkt-billigst-Handschuhen aus geschweißtem Plastik zu. Bei ihrer Anwendung im Labor können sehr leicht Chemikalien in den „Handschuh“ gelangen und dort besonders intensiv und lang auf die Haut einwirken.
- Vermeiden Sie die Verschleppung von Kontaminationen durch den Kontakt der Handschuhe mit Lichtschaltern, Türschnallen, Griffen, Armaturen usw. Legen Sie dazu die Handschuhe ab oder – wenn Sie allein in diesem Labor tätig sind – decken Sie die Schalter und Grippe zB mit saugfähigem Papier ab, das Sie nachher entfernen. Ziehen Sie die Handschuhe aus, wenn Sie nicht mit Chemikalien hantieren oder eine Protokollnotiz anfertigen.
- An sog. Fangstellen (zB an drehenden Maschinenteilen, an Bohrmaschinen etc) ist das Arbeiten mit Handschuhen **verboten:** Der Handschuh könnte, wenn das Drehmoment groß genug ist, mitgerissen („gefangen“) werden; dadurch kann ein Finger verletzt oder sogar abgetrennt werden.

30 Atemschutz

30.1 Einteilung, Typen und Anwendungsbereiche

Einteilung des Atemschutzes:



Für Laboratorien sind vor allem Filtergeräte („Gasmasken“) relevant. Im Folgenden wird daher nur auf diese eingegangen.

Pressluftatmer dürfen nur von ausgebildeten und gesundheitlich überwachten Personen verwendet werden.

Filtergeräte sind von der Umgebungsluft abhängig. Sie dürfen daher nur eingesetzt werden, wenn

- in der Umgebungsluft **mindestens 17 % O_2** vorhanden sind,
- die **Art der Schadstoffe** bekannt ist – von ihr hängt der Filtertyp ab ! – und
- die **Konzentration der Schadstoffe** so niedrig ist, dass ein Filtergerät eingesetzt werden darf – bei zu höher Konzentration würde das Filter rasch durchbrechen !

Bauarten:

Vollmasken umschließen das ganze Gesicht (sie schützen also auch die Augen vor Gasen mit Reizwirkung ebenso wie vor mechanischer Gefährdung); sie sind für das Labor am besten geeignet. (Siehe Bild 21 in SICHER ARBEITEN.)

Halbmasken umschließen nur Mund, Nase und Kinn (nicht aber die Augen).

Atemschutzfilter:

Das **Atemschutzfilter** („Filtereinsatz“) ist jener (in der Regel austauschbare) Teil des Filtergerätes, der die gesundheitsschädliche Umgebungsluft atembar machen soll.
Die Schadstoffe können gasförmig oder/und als Partikel vorliegen.

Gasfilter schützen nicht gegen Schwebstoffe, dh gegen feste und/oder flüssige Partikel.

Partikelfilter schützen nicht gegen Gase.

Lungengängige feste oder flüssige Partikel haben einen Durchmesser von etwa ≤ 5 µm.

Die folgende Übersicht gibt Auskunft über die wichtigsten **Filtertypen** und deren Kennzeichnung sowie über die **Filterklassen** und die **Anwendungsbereiche**:

Typ	Kenn-farbe	Hauptanwendungsbereich	Klasse	Höchstzulässige Gaskonzentration
Gasfilter				
A	**braun**	**Organische Gase und Dämpfe** mit **Siedepunkt > 65 °C**	1 2 3	0,1 Vol.-% 0,5 Vol.-% 1,0 Vol.-%
AX	**braun**	**niedrigsiedende organische Verbindungen** (Siedepunkt ≤ 65 °C) der Niedrigsiedergruppen 1 und 2 ***(siehe Abschnitt 30.2)***	—	Gr. 1: 0,01 Vol.-% für max. 40 min Gr. 1: 0,05 Vol.-% für max. 20 min Gr. 2: 0,1 Vol.-% für max. 60 min Gr. 2: 0,5 Vol.-% für max. 20 min
B	**grau**	**Anorganische Gase und Dämpfe**, zB Cl_2, H_2S, HCN – nicht gegen Kohlenmonoxid	1 2 3	0,1 Vol.-% 0,5 Vol.-% 1,0 Vol.-%
E	**gelb**	Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und andere **saure Gase**	1 2 3	0,1 Vol.-% 0,5 Vol.-% 1,0 Vol.-%
K	**grün**	**Ammoniak** und organische Ammoniak-Derivate	1 2 3	0,1 Vol.-% 0,5 Vol.-% 1,0 Vol.-%
NO	**blau**	**nitrose Gase** zB NO, NO_2, NO_X	—	spezielle Richtlinien
CO	**schwarz**	**Kohlenmonoxid**	—	spezielle Richtlinien
Hg	**rot**	**Quecksilber**	—	spezielle Richtlinien
Partikelfilter				
P	**weiß**	**Feststoffpartikel** (Stäube, Rauche) **Feststoffpartikel und Tröpfchenaerosole**	1 { 2 3	gering mittel hoch

Auf jedem Atemschutzfilter sind ua Filtertyp (Kennbuchstabe), Kennfarbe, Filterklasse und Ablaufdatum angegeben.

Kombinationsfilter vereinigen Gas- und Partikelfilter in einem Filtereinsatz.

Mehrbereichsfilter enthalten Gasfilter verschiedenen Typs in einem Filtereinsatz.

Welchen Filtertyp für einen bestimmten Schadstoff einsetzen ?

Grundlegende Informationen enthält die voranstehende Tabelle.

Bei der Klärung dieser Frage in Bezug auf einen bestimmten Stoff helfen auch die Zuordnungslisten, die bei den Herstellern von Filtermasken erhältlich sind.
Siehe zB auch: http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/sifaweb/schutz.html#aschutz

Auch das Sicherheitsdatenblatt sollte dazu konkrete Angaben enthalten (siehe das Beispiel im Anhang auf Seite A2 [Punkt 8]).

Bei der Arbeit mit besonders gefährlichen Stoffen (zB Phosgen, Blausäure, Fluor, Dimethylsulfat, Phosphorwasserstoff usw) **muss ein geeignetes Atemschutzgerät bereitgehalten werden.** Es muss verwendungsfertig bereit liegen, dh der Filtereinsatz muss eingeschraubt und die Kopfbebänderung muss eingestellt sein.

Das gilt auch für das Anschließen von Druckgasflaschen mit entsprechendem Inhalt und für Arbeiten mit derartigen Stoffen im Abzug, weil ja auch hier die Gefahr des Glasbruches, eines Ventilschadens etc besteht.

Fluchtmasken (und CO-Filter)

Um im Brandfall aus verrauchten Räumen oder durch (leicht) verrauchte Verkehrswege flüchten zu können, werden in Gebäuden manchmal Fluchtfiltermasken meist in der Form von „Fluchthauben" bereit gehalten. Diese sind nur für den einmaligen kurzzeitigen Gebrauch (ca. 15 Minuten) für die Flucht aus dem Gebäude geeignet.

Als gefährlichsten Stoff enthalten Brandgase Kohlenmonoxid. CO kann (wegen seiner geringen Molekülgröße) aus Luft nicht wirksam adsorbiert werden.

Im Filter der Fluchtmaske, welches außerdem Rauchpartikel zurückhält, wird CO daher mittels eines Katalysators (Hopkalit *[hopcalite]* = ein Gemisch aus Mangan- und Kupferoxiden) zu CO_2 oxidiert. In der Brandgas-haltigen Umgebungsluft dürfen maximal etwa 1% CO vorhanden sein.

Da Hopkalit feuchtigkeitsempfindlich ist, haben die (versiegelt bereit gehaltenen) Fluchtfiltermasken nur eine beschränkte Haltbarkeit und sind periodisch auf Gewichtszunahme zu kontrollieren. Wegen des Wasserdampfgehaltes in der Einatmungsluft ist auch die Einsatzdauer des Filters auf ~ 15 Minuten eingeschränkt.

30.2 AX-Gasfilter für Niedrigsieder

Gase und Dämpfe **organischer Verbindungen mit Siedepunkten ≤ 65 °C** (sog. „Niedrigsieder") werden nur schlecht an Gasfilter auf Basis Aktivkohle gebunden, auch weil die Luftfeuchtigkeit als Konkurrent bei der Adsorption auftritt.
Es wurden daher neben den Filtern des Gasfiltertyps A solche mit erhöhter Aufnahmefähigkeit entwickelt und als Gasfiltertyp AX bezeichnet (siehe Tabelle oben).

Wenn in der Luft neben Niedrigsiedern noch andere (höhersiedende) **organische Verbindungen vorliegen, darf ein AX-Filter nicht verwendet werden:** Es besteht die Gefahr der Desorption des Niedrigsieders durch den anderen organischen Stoff. In diesem Fall muss ein von der Umgebungsluft unabhängiger Atemschutz eingesetzt werden.

Die **maximale Verwendungsdauer** eines AX-Filters beträgt je nach Schadstoff zwischen 20 bzw 60 Minuten (siehe Tabelle oben). Ein angebrochener AX-Filter darf nur am selben Tag aufgebraucht werden.
Der Grund liegt darin, dass vor allem bei nicht sehr fest adsorbierten Stoffen relativ rasch eine Gleichverteilung der Schadstoffmoleküle über die gesamte Schichtdicke des Filters eintritt. Bei Einatmung durch ein so „equilibriertes" Filter würde bereits mit dem ersten Atemzug Schadstoff desorbiert und eingeatmet werden, dh das Filter „bricht durch".

Die Stoffe der Gruppen 1, 2, 3 und 4 sind im Anhang B in SICHER ARBEITEN aufgelistet.

Zu den Niedrigsiedern der „**Gruppe 1**“ gehören zB Dichlormethan, Methanol, Ethylenoxid; zu denen der „**Gruppe 2**“ gehören zB Aceton, Diethylether, Methylformiat, Ethylformiat, Methylacetat, Chlorethan, C4- und C5-Kohlenwasserstoffe. → AX-Filter einsetzen.

Niedrigsieder der „**Gruppe 3**“ (zB Ethylamin, Formaldehyd, CS_2, Phosgen, Methanthiol) sind solche, gegen die man sich mit anderen Gasfiltern (Typ B oder K) schützen kann.

Niedrigsieder der „**Gruppe 4**“ (zB Chlormethan, Chlorfluormethane, Keten...) werden von keinem Filter ausreichend zurückgehalten → Pressluftatmer einsetzen!

30.3 Die Höchstlagerdauer von Gasfiltern

Das am Gas- oder Kombinationsfilter angegebene Ablaufdatum muss eingehalten werden. Abgelaufene Filter müssen entfernt und durch neue ersetzt werden.

Das ist keineswegs „übertriebene Vorsicht“, sondern hat physikalisch-chemische Gründe:

Wassermoleküle aus der Luftfeuchtigkeit werden relativ gut an Aktivkohle, dem Hauptadsorbens in Gasfiltern, gebunden. Die Feuchtigkeit gelangt auch in das *originalverschlossene* Filter, weil ein Druckausgleich zwischen Innenraum und Umgebung stattfindet und somit das Eindringen von Luft in das Filter als Folge von Temperaturschwankungen nicht vollständig verhindert werden kann und soll. (Eine absolute Abdichtung könnte Risse im Filterbett bewirken und so das Filter auf andere Weise schädigen.) **Das mit der Zeit unvermeidlich einwandernde Wasser reduziert die Kapazität des Filters für Schadstoffe.**

Darüber hinaus sind manche Filterfüllungen mit einer Spezialimprägnierung ausgerüstet. **Diese Imprägnierung kann mit der Zeit wegdiffundieren.** Die Ablauffrist beträgt daher für Filter

der **Typen A und AX**	**5 Jahre** ab der Herstellung
der **Typen B und CO**	**4 Jahre** ab der Herstellung und
der **Typen E und K**	**3 Jahre** ab der Herstellung.

Gasfilter soll man daher bei normaler (besser: niedriger) Feuchtigkeit und Temperatur in möglichst schadstoffarmer Luft bereithalten und aufbewahren.

Verwendung angebrauchter Filter nach Zwischenlagerung

Nach nur kurzer Benutzungsdauer eines Gasfilters (zB 30 Minuten) und/oder nur sehr geringer Schadstoffkonzentration in der Atemluft stellt sich die Frage, ob das Filter aufbewahrt und ein weiteres Mal benutzt werden darf.

Ein **AX-Filter** muss – wie oben erläutert – am selben Tag aufgebraucht oder anderenfalls direkt entsorgt werden.

Für Filter des **Typs A** wird eine Wiederverwendung nur unter folgenden Bedingungen als akzeptierbar angesehen (Sichere Chemiearbeit, Sept **2000**, 101): Bei nur geringfügiger Belastung durch organische Stoffe mit einem Kp > 100 °C darf das Filter wiederverwendet werden, wenn seit dem ersten Gebrauch erst wenige Tage vergangen sind. Dies gilt auch für Kombinationsfilter.

Filter für anorganische Gase (**Typ B**) oder Ammoniak (**Typ K**) können noch nach 6 Monaten wiederverwendet werden.

30.4 *„Feinstaubmasken“ = Filtrierende Halbmasken für den Schutz vor Partikeln*

Die „Feinstaubmasken“ sind entsprechend der Norm (ÖNORM EN 149) „Filtrierende Halbmasken zum den Schutz gegen Partikeln“ (FFP steht für *Filtering Face Piece*). Sie sind technisch mehr oder minder hochentwickelte, an die Gesichtsform angepasste und anpassbare Filtermaterialien, die Nase und Mund bedecken und die durch über den Kopf zu ziehende Gummibänder in ihrer Position gehalten werden. Formal gelten auch sie als „Atemschutzgeräte (Filtergeräte)“. Neuere Produkte haben oft ein Ausatemventil (Gummimembran) und weisen einen guten Tragekomfort auf.

Sie schützen nur vor festen und vor flüssigen Partikeln, dh vor „festen“ und „flüssigen“ Aerosolen. Filtrierende Halbmasken sind also nur beim Auftreten von staubförmigen Chemikalien bzw von Nebeln einsetzbar.

Gegen Gase (Dämpfe) sind diese Masken wirkungslos. Bei flüssigen Aerosolen ist daher stets der Dampfdruck der Flüssigkeit zu berücksichtigen. Von diesem hängt ab, ob sich neben den Flüssigkeitströpfchen vielleicht schon durch die Verdampfung allein eine gesundheitsgefährdende Dampfkonzentration bilden könnte – oder ob die Abdampfung der auf der Maske abgeschiedenen Tröpfchen in den Atemluftstrom ein gefährliches Ausmaß erreichen kann.

Filtrierende Halbmasken für den Schutz vor Partikeln sind in der Regel für den **Einmalgebrauch** bestimmt und sollen keinesfalls länger als einen Arbeitstag verwendet werden.

Die filtrierenden Halbmasken zum Partikelschutz werden in die Filterklassen FFP1, FFP2 und FFP3 eingeteilt:

Filterklasse	**FFP1**	**FFP2**	**FFP3**
Abscheidegrad	niedrig	mittel	hoch
Max. Leckage Umfasst Undichtheit am Gesicht, Filterdurchlass für Partikel und Leckage des Ausatemventils (falls vorhanden)	22 %	8 %	2 %
Max. Durchlassgrad des Filtermaterials (am Anfang) für Partikel (geprüft mit NaCl-Aerosol und Paraffinöl-Aerosol	20 %	6 %	1 %
Zugelassene Anwendung	nur für Grobstaub und belästigenden Feinstaub und entsprechende flüssige Partikel	auch für mindergiftige oder reizende feste und flüssige Partikel, zB von Xn- und Xi-Chemikalien sowie zB Bleirauch, Asbest, Ölnebel, Glasfasern, Schweißrauch	auch für (sehr) giftige feste und flüssige Partikel, Partikel krebserzeugender Stoffe, Bakterien, Sporen, radioaktive Partikel
Höchstzulässige Schadstoffkonzentration als Vielfaches des MAK-Wertes	5facher MAK-Wert	10facher MAK-Wert	50facher MAK-Wert

Es dürfen im EWR nur der Norm entsprechende Schutzmasken verkauft werden. Auf der filtrierenden Halbmaske muss die Nummer und das Jahr der Norm aufscheinen „EN 149: 2001“. Die Verpackung muss außerdem das Ende der Lagerzeit und die Lagerbedingungen angeben. Jeder Packung muss eine Gebrauchsanweisung beiliegen.

31 Weiterführende Informationen

31.1 Literatur

Zum Thema liegt (neben mehreren englischsprachigen Büchern) praktisch nur Literatur aus der BRD vor. Die in diesen Publikationen enthaltenen Verweise auf Rechtsvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften (UVV) und technische Regeln beziehen sich auf die BRD. Inhaltlich und sicherheitstechnisch sind sie jedoch auch für österreichische Laboratorien maßgebend und wichtig.

- **Internet-Einträge** gibt es – vor allem im Universitätsbereich – zahlreiche.
  Als Internetseite von herausragender und vorbildhafter Qualität und Reichhaltigkeit erwähne ich hier nur die umfangreichen von Kollegen T. LEHMANN vom Institut der Chemie an der FU Berlin zusammengestellten Fachinformationen und Hilfen:
  http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/sicindex.html und
  http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/index.html
  Surfen Sie einmal – Sie werden staunen !

- **Sicheres Arbeiten in chemischen Laboratorien**. Einführung für Studierende. Hrsg vom Bundesverband der Unfallkassen in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie (BG Chemie). Bestellnummer: GUV-I 8553 (alt: GUV 50.0.4). 7. überarbeitete Auflage, München, 2006. (130 S.)
  Im **vorliegenden Skriptum zitiert als** „SICHER ARBEITEN“. Als Grundlage, zum Lernen und Nachschlagen sehr zu empfehlen. Gut und sehr preiswert.
  Online zB: http://regelwerk.unfallkassen.de/regelwerk/data/regelwerk/inform/I_8553.pdf

- **Richtlinien für Laboratorien**. Hrsg vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Bestellnummer: BG-Regel BGR 120 (früher: ZH 1/119). Ausgabe Oktober 1993, aktualisierte Fassung 1998. (84 S.)
  Bezugsquelle: Carl Heymanns Verlag, D-50939 Köln, Luxemburger Straße 449. Richtungsweisende Vorschriften für Schutzmaßnahmen, Ausstattung und den Betrieb von Laboratorien. Sie gelten in der BRD auch für Universitäts-Labors.
  Online zB: http://www.arbeitssicherheit.de/servlet/PB/show/1224432/bgr120.pdf oder:
  http://regelwerk.unfallkassen.de/regelwerk/data/regelwerk/regeln/R_120.pdf;
  http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/richtl.html

- **Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz: Umgang mit Gefahrstoffen in Hochschulen**. Hrsg vom Bundesverband der Unfallkassen. Ausgabe November 1998. Bestellnummer: GUV-SR 2005 (früher GUV 19.17). (35 S.)
  Bezugsquelle: Bundesverband der Unfallkassen [Dachverband der gesetzlichen Unfallversicherungsträger der öffentlich Bediensteten]: D-81539 München, Fockensteinstraße 1.
  Online zB:
  http://regelwerk.unfallkassen.de/regelwerk/data/regelwerk/s_regeln/SR_2005.pdf#xml=http://regelwerk.unfallkassen.de/regelwerk/ifinder/pdf/highlight.jsp?file=s_regeln/SR_2005.pdf&appID=1&mime=application/pdf&words=19.17&indexID=5&save=s_regeln/SR_2005.pdf

- **TRGS 526** (Technische Regel für Gefahrstoffe) **Laboratorien.** Ausgabe Februar 2008.
  Nähere Hinweise zu: Gefährdungsbeurteilung und Substitutionsprüfung, Expositionsermittlung, Notfälle und Störungen, besonderem Reaktionsverlauf zB bei neuen Stoffen, Substitution von Gefahrstoffen, allgemeine Grundsätze für das Arbeiten im Laboratorium, Betriebsanweisungen, Arbeitsplatzgestaltung, Schutzausrüstungen, Hygiene, Dokumentation, Brandschutz, usw.
  Online zB: http://www.baua.de/nn_16744/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-526.pdf

- **Gefährdungsbeurteilung im Labor**. Merkblatt T 034. Hrsg von der gewerblichen Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie. Bestellnummer: BG-Information BGI 798 (früher: ZH 1/379). Ausgabe April 2001. (77 S.)

  Bezugsquelle: Carl Heymanns Verlag, D-50939 Köln, Luxemburger Straße 449. Systematische Kurzübersicht über die wichtigsten Gefahren im Labor mit Hinweisen auf die zu berücksichtigenden Regeln und BRD-Vorschriften.

- **Sicherer Umgang mit biologischen Agenzien**. Biotechnologie, Gentechnik. Teil 2: **Arbeiten im Laboratorium**. Hrsg von der Internationalen Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie. Heidelberg 2000 (100 S.)

  Im **vorliegenden Skriptum zitiert als** „BIOLOGISCHE AGENZIEN“. Bezugsquelle: Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, D-69115 Heidelberg, Kurfürsten Anlage 62.

- **Laboratory Hazards Bulletin** – An international abstracting publication reporting on laboratory health and safety issues, published by the Royal Society of Chemistry (www.rsc.org/lhb) ISSN 0261-2917

  Laboratory Hazards Bulletin is a monthly publication, reporting on safety measures, potential hazards and new legislation affecting workers in laboratories. Informative abstracts from the current scientific, technical and trade literature are arranged in sections: Fire & Explosions, Leaks & Spills, Waste Management, Storage & Transportation, Biological Hazards, Legislation and Precautions & Safe Practices.

  Auch Literaturberichte über stattgefundene Unfälle werden zusammengefasst.

- **Sicherheit im Labor**. Fakten. Tipps. Tabellen. Hrsg von Fa. Merck. Darmstadt, 1991. Fallweise erhältlich von der Fa. Merck. Enthält neben der Präsentation von Firmenerzeugnissen, Konzentration-Dichte-Tabellen und physikalischen Einheiten wertvolle und wichtige Schutzmaßnahmen sowie Hinweise zur Laborarbeit und Entsorgung.

- **MAK-Werte-Liste**. Kundgemacht im österreichischen Bundesgesetzblatt in der **Grenzwerteverordnung** 2007 (GKV 2007), BGBI II Nr 253/2001 idF BGBI II Nr 243/2007.

  Die MAK-Werte-Liste erfasst (nur) rund 700 zumeist industriell gebräuchliche Stoffe und ermöglicht eine grobe Abschätzung ihrer Inhalationstoxizität, der sensibilisierenden Eigenschaften und der Gefahr der Hautresorption. Die Verordnung enthält weiters die Technischen Richtkonzentrationen (TRK-Werte) für krebserzeugende Stoffe und eine Aufzählung eingestufter krebserzeugender Arbeitsstoffe (*keine vollständige Liste* der bekannten Karzinogene!).

  → Muster im Anhang zu diesem Skriptum!

- R. SEIDENSTÜCKER, U. WÖLCKE, **Krebserregende Stoffe**. Chemische Kanzerogene im Laboratorium. Struktur, Wirkungsweise und Maßnahmen beim Umgang. 3. erweiterte Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1979. (Schriftenreihe Arbeitsschutz der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund. Nr. 3.) (58 S.)

  Formelmäßige Darstellung und Beschreibung zahlreicher (im Jahr 1979 bekannter) krebserzeugender Stoffe und Sicherheitsmaßnahmen im Laboratorium.

- Dante BERNABEI, **Sicherheit**. Handbuch für das Labor. Hrsg von Fa. Merck. Darmstadt: GIT Verlag, 2. Auflage 1993. (231 S.)

  Ein erheblicher Teil des Buches beschreibt die (Sicherheits)Produkte der herausgebenden Firma sowie deren sichere Anwendung und bringt Auszüge aus dem oben angeführten Sicherheitsheft der Firma, „Sicherheit im Labor“.

- Thomas H. BROCK, **Sicherheit und Gesundheitsschutz im Laboratorium**. Die Anwendung der Richtlinien für Laboratorien. Heidelberg ua: Springer, 1997. (333 S.)

- **Sicherheit in chemischen und verwandten Laboratorien**. Hrsg von Friedhelm HESKE. Weinheim ua: Vlg Chemie, 1983. (124 S.)
  Ein systematisch aufgebautes grundlegendes Werk über Sicherheitsmaßnahmen bei verschiedenen Arbeiten in Laboratorien sowie über planungs- und einrichtungstechnische Erfordernisse. Durch die starke Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Vorschriften und Normen ist es heute zwangsläufig zum Teil überholt.

- Werner SCHRAMM, **Laborbrände – Laborexplosionen**. Ursachen, Folgen, Folgerungen. Stuttgart: Kohlhammer, 1987. (259 S.)
  Der Autor dokumentiert und analysiert mehr als 300 große wie kleine Brand- und Explosionsfälle in Labors von Schulen Universitäten, Forschungs- und Untersuchungseinrichtungen, Krankenhäusern und in Industrielabors. In der Auswertung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten sind zahlreiche Gefahren, Maßnahmen und daraus abgeleitete Forderungen dargestellt, sodass sich in Zukunft kein/e Laborverantwortliche/r mit Unwissenheit wird entschuldigen können.

31.2 Schnell-Nachschlag-Möglichkeiten und Nachschlagewerke

- **Chemikalienkataloge**

Viele Kataloge von Chemikalienherstellern – nur die neueste Ausgabe heranziehen! – geben bei den einzelnen Chemikalien auch Hinweise auf Gefahren und Schutzmaßnahmen, auf Lager- und Transportvorschriften, zur Entsorgung, Daten zur akuten Toxizität, physikalisch-chemische Daten, Literaturstellen usw.

> *Achtung! Eintragungen in Herstellerkatalogen **müssen nicht** vollständig, richtig und am letzten Stand sein !*

- **Sicherheitsdatenblatt** *[Safety Data Sheet, Material Safety Data Sheet, MSDS]*

Nützlich vor allem bei „Zubereitungen“, dh Mischungen und chemischen Produkten. Es ist vom Inverkehrsetzer eines gefährlichen Stoffes bzw Produktes bei der erstmaligen Belieferung eines gewerblichen Anwenders sowie auf Verlangen auszufolgen. Immer die neueste Ausgabe bestellen und nur diese verwenden! Obwohl die Verpflichtung dazu besteht, sind Sicherheitsdatenblätter leider nicht immer vollständig und fehlerfrei.

→ *Muster im Anhang zu diesem Skriptum!*

- R. KÜHN, K. BIRETT, **Merkblätter Gefährliche Arbeitsstoffe**. (Loseblattsammlung. Mehrere Ergänzungslieferungen pro Jahr; Frühjahr 2008: 220. Ergänzungslieferung) Landsberg/Lech: ecomed. ISBN: 3-609-73000-5
  Die neunbändige Loseblattsammlung enthält in zwei Bänden Stoffdatenblätter für etwa 650 Stoffe.

  → *Muster im Anhang zu diesem Skriptum!*

- G. SORBE, **Sicherheitstechnische Kenndaten**. Gefahrenindex chemischer Stoffe. (Loseblattsammlung. Mehrere Ergänzungslieferungen pro Jahr; Frühjahr 2008: 123. Ergänzungslieferung) Landsberg/Lech: ecomed. ISBN: 3-609-73060-9
  Die elfbändige Loseblattsammlung enthält in 10 Bänden – oft knappe – Daten zu etwa 20.000 Stoffen.

  → *Muster im Anhang zu diesem Skriptum!*

- L. ROTH, M. DAUNDERER, **Giftliste**. Giftige, gesundheitsschädliche, reizende und krebserzeugende Stoffe. (Loseblattsammlung) Landsberg/Lech: ecomed. ISBN: 3-609-73120-6
  Die sechsbändige Loseblattsammlung gibt in etwa zwei Bänden ua (sehr) kurze Toxizitäts- und andere Hinweise zu mehreren tausend chemischen Stoffen sowie zu Giftpflanzen.

  → *Muster im Anhang zu diesem Skriptum!*

- **Neue Datenblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung** [der BRD]. Hrsg von Ullrich WELZBACHER. (Loseblattsammlung.) Augsburg: Weka Vlg, 1987 —.
  Ein weiteres Produkt unter den oft weniger zufriedenstellenden Loseblattsammlungen. Von den sechs Bänden enthalten vier Bände Stoffdatenblätter.
- „**HOMMEL**", **Handbuch der gefährlichen Güter**. (Loseblattsammlung in 8 Ordnern.), Berlin ua: Springer Verlag, 1999/2003.
  Diese „traditionelle" Loseblattsammlung über Gefahrstoffdaten mit zur Zeit etwa 2300 Merkblättern hat in den 1960er Jahren der Erste Polizeihauptkommissar der Wasserschutzpolizeidirektion Baden-Württemberg, Günther HOMMEL, aus der praktischen Notwendigkeit heraus begründet, bei Transportunfällen mit chemischen Stoffen die entscheidenden Daten griffbereit bei der Hand zu haben.

  → *Muster im Anhang zu diesem Skriptum!*

Diverse Literaturhinweise auch in Anhang D in SICHER ARBEITEN.

31.3 Literatur zur Laboratoriumstechnik

Labor-Sicherheitstechnik setzt zumeist Kenntnisse über Arbeitstechniken und apparative Methoden im Labor voraus. Entsprechende Informationen findet man in Einführungen in die Laboratoriumstechnik. Zahlreiche derartige Werke stehen in Bibliotheken bzw im Buchhandel zu Verfügung. Auch die meisten experimentell orientierten Lehrbücher enthalten einen Teil über Labortechnik.

Man darf in diesen Einführungen jedoch keine umfangreichen sicherheitstechnischen Informationen und Anweisungen bzw. Hinweise auf erforderliche Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu erwarten. Sicherheitsmaßnahmen und Arbeitssicherheit bauen auf der Kenntnis der Labortechnik auf und wirken auf sie zurück. Dementsprechend findet man in Einführungen in die Labortechnik in aller Regel wohl einzelne nützliche, aber keine vollständigen Sicherheitshinweise !

Labortechnik-Einführungen findet man beispielsweise in:

- J. LEONARD, B. LYGO, G. PROCTER, **Praxis der Organischen Chemie**. Ein Handbuch. Deutsch hrsg von G. DYKER. Weinheim ua: VCH 1996. (285 S.)
  Von der Protokollführung und Literaturarbeit über Vakuumpumpen sowie Vorgangsweisen und Tricks bei der Reaktionsdurchführung bis hin zur Fehlersuche bei misslungenen Reaktionen.
- Harald KRUSE, **Laborfibel**. Hinweise und Anleitungen für die/den AnfängerIn im chemischen Laboratorium. 2. Auflage. Weinheim ua: VCH 1989. (178 S.)
  Ziemlich grundlegend und nicht schlecht. Man erfährt – auf systematische Weise – mehr als man sich erwarten würde!
- Organikum. **Organisch-chemisches Grundpraktikum**. 22. vollst. überarb. und aktualisierte Auflage. Weinheim: Wiley-VCH, 2004.
  Der erste Teil bietet einen ersten Einblick und eine gute Grundlage bezüglich der Labortechnik organisch-chemischen Arbeitens, die sicherheitstechnischen Hinweise reichen jedoch nicht aus und sind zT veraltet.

- GATTERMANN-WIELAND, **Die Praxis des organischen Chemikers**. 43. Auflage. Berlin, New York, 1982.
  Eine klassische Übersicht der organisch-chemischen Laboroperationen auf rund 120 Seiten, die auf Sicherheitsaspekte aber nur unsystematisch und manchmal nicht dem heutigen Stand entsprechend eingeht.
- HOUBEN-WEYL, **Methoden der organischen Chemie**. 4. Auflage. Band I/1 und Band I/2: Allgemeine Laboratoriumspraxis. Stuttgart, 1958 bzw 1959.
  Ein ausführliches Standardwerk, jedoch selbstverständlich zum Teil veraltet.
- Labortechnische Hilfsmittel werden von verschiedenen Chemikalienfirmen angeboten, die ihre richtige und vorteilhafte Anwendung beschreiben. So geben diverse Firmenpublikationen der Fa. Merck, beispielsweise das Heftchen „Sicherheit im Labor" und das Buch BERNABEI, „Sicherheit. Handbuch für das Labor", Hinweise betreffend das Trocknen von Gasen, Flüssigkeiten, Präparaten; das Einstellen konstanter Luftfeuchtigkeit; das Prüfen auf Peroxide und das Zerstören derselben; das Hydrophobieren von Glasgeräten; auf Reinigungsmittel für Laborglas; Heizbadmedien; Schliff-Fette; Reinigungskatalysatoren für Gase; usw.

Viele Datensammlungen und Labortechnik-Bücher finden Sie zum Beispiel in der Fakultätsbibliothek Chemie an der TU Wien am Getreidemarkt in Freihandaufstellung.

32 Einige rechtliche Informationen

32.1 Rechtsvorschriften zum Arbeitsschutz

Zum Schutz von Studierenden im Sinn eines ArbeitnehmerInnenschutzes bestehen praktisch keine gesetzlichen Grundlagen. Dies ist für einen mitteleuropäischen Industrie (und EU-Mitglied-)staat eine beschämende Tatsache. Eine Änderung ist nicht in Sicht. Das leider in manchen Universitätseinrichtungen festzustellende unzureichende Bewusstsein betreffend die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der chemischen Arbeit spiegelt diese Unsicherheit.

Einen gewissen, aber sehr indirekten Schutz erhalten Studierende durch den gesetzlich vorgeschriebenen (wenngleich an Universitäten mitunter vernachlässigten) Schutz der Bediensteten. Dies betrifft zB die Beschaffenheit von Verkehrswegen und Fluchtwegen, Brandschutzeinrichtungen ...

Für die Gewährleistung der Sicherheit und die Verbesserung des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit sind für die ArbeitnehmerInnen der österreichischen Universitäten (seit 2004 auf Grund des Universitätsgesetzes 2002) das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG), BGBl Nr 450/1994, und die dazugehörigen Verordnungen einzuhalten. (Vorher waren für Beschäftigte des Bundes das Bundes-Bedienstetenschutzgesetz [B-BSG], BGBl I Nr 70/1999, und die dazugehörigen Verordnungen anzuwenden.) Zuständig und verantwortlich dafür, dass die Sicherheits- und Gesundheitsschutzmaßnahmen getroffen werden, ist der Arbeitgeber (dh die Universität bzw bei diversen Projekten jene Person, die eine Projektmitarbeiterin einstellt).

Konkrete Maßnahmen, die die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Studierenden verbessern, sind aber durchaus möglich. Sie obliegen der Universität bzw den Instituten. Diese Einrichtungen argumentieren gerne mit ihren unzureichenden Finanzmitteln. Manchmal gewinnt man allerdings den Eindruck, dass die Knappheit bestimmter Budgets als willkommener Vorwand dient,

1. um sich mit den „unproduktiven“ Fragen der Sicherheit der Studierenden nicht beschäftigen zu müssen und
2. um sich der Anstrengung zu entziehen, die benötigten Ressourcen schrittweise einzufordern und zu beschaffen, was in der Regel einen längeren Zeitraum benötigt und Einsatz erfordert.

Die Erfahrung zeigt, dass nur das beharrliche Eintreten der Betroffenen für Maßnahmen zum Schutz ihrer eigenen Gesundheit und ihr Engagement für konkrete technische Verbesserungen, für Anschaffungen usw können die erforderlichen Maßnahmen bewirken.

Befürchtungen (oder Wünsche ?) wie „Nur nix laut kritisieren, sonst kommt die Behörde und sperrt das ganze Institut zu...“. entbehren jeder Grundlage; keine Behörde hat nämlich eine gesetzliche Grundlage für ein solches Vorgehen.
Richtig ist vielmehr: Nur klare, konkrete, beharrliche und öffentlichkeitswirksame Forderungen und Kritik schaffen eine Chance auf Verbesserung.

An der Universität Wien sind jedenfalls – zusätzlich zu den Regeln, die sich aus diesem Skriptum ergeben – zu beachten:

Allgemeine Brandschutzordnung der Universität Wien (Mitteilungsblatt 2007/08 Nr 10)
http://www.univie.ac.at/mtbl02/02_pdf/20071008.pdf

Allgemeine Labor- und Werkstättenordnung der Universität Wien (Mitteilungsblatt 2007/08 vom 14.11.2007, Nr 29)
http://www.univie.ac.at/mtbl02/02_pdf/20071114.pdf

32.2 Unfall- und Berufskrankheitenversicherung für StudentInnen und die Pflicht zur Unfallmeldung

Studierende sind per Gesetz (ASVG) bei der AUVA **unfallversichert;** den Versicherungsbeitrag bezahlt die öffentliche Hand. Die Versicherten haben *keinen* Beitrag zu zahlen.

Mit der Unfallversicherung verbunden ist die Pflicht, jeden Arbeitsunfall und jede Berufskrankheit der AUVA zu melden.

Ein Arbeitsunfall ist jeder Unfall mit einer körperlichen Schädigung (zB Verletzung, Verätzung), der sich in Zusammenhang mit dem Studium ereignet hat.

Das heißt: Ein Arbeitsunfall ist jeder Unfall ...

- im Hörsaal, im Praktikum, in der Bibliothek, bei der Exkursion usw,
- in der Hörerversammlung, bei der ÖH-Wahl, bei der Vorsprache bei der Studentinnenvertretung, bei der Tätigkeit als StudentenvertreterIn,
- bei der Einnahme des Essens (Buffet, Mensa) und
- bei den (direkten) Wegen zu all diesen Tätigkeiten von zuhause und zurück.

Richtschnur: Zu melden ist ein solcher Unfall ***jedenfalls,*** wenn er einen Arztbesuch oder Klinikbesuch zur Folge hatte. Darüber hinaus ist eine Meldung im Lichte des unten Gesagten sinnvoll (Beweissicherung...).

Der Arbeitsunfall wird mittels eines Meldeformulars mitgeteilt = „Unfallmeldung für Studierende". Siehe die Kopiervorlage auf Seite A12 im Anhang zu diesem Skriptum. Sofern das Formular in der Universitäts-Stelle nicht vorrätig oder die Kopiervorlage nicht greifbar ist, kann es angefordert werden bei:

AUVA – Landesstelle Wien
Webergasse 4, 1203 Wien
Telefon: 33 133-0   Fax: 33133/293

An diese Adresse ist die Unfallmeldung auch einzusenden bzw zu faxen.

Die Meldepflicht obliegt nach dem Gesetz der Universität (dh dem Institut bzw dem Dekanat). Die Pflicht, das Institut von einem Arbeitsunfall in Kenntnis zu setzen, liegt beim Verunfallten. Bei Wegunfällen ist die Information des Verunfallten an die Universitätsstelle überhaupt die einzige Möglichkeit, dass die Universität die vorgeschriebene Meldung erstatten kann.

Jede/r von einem Arbeitsunfall betroffene Studierende sollte unbedingt auf die Durchführung der Unfallmeldung achten, weil eine Nichtmeldung uU große finanzielle Nachteile sowie eine Schlechterstellung bei der Behandlung der Verletzungsfolgen und bei der Rehabilitation allfälliger Spätfolgen nach sich ziehen kann.

Es ist auch möglich, die Unfallmeldung auch selbst auszufüllen und einzusenden !

Download-Formular: http://www.auva.at/mediaDB/128658.PDF

→ *Kopiervorlage des Meldeformulars auf Seite A12 im Anhang zu diesem Skriptum*

Hinweise dazu:

Die akute medizinische Versorgung nach einem Arbeitsunfall unterscheidet sich nicht von der nach einer anders eingetretenen Verletzung. Bei einem Spitalsaufenthalt ist für jeden Tag, den ein mitversicherter Angehöriger (zB ein/e studierende Tochter/Sohn) im Spital versorgt wird, bis zur Höchstzahl von 28 Tagen pro Jahr eine sog „Kostenbeteiligung" in erheblicher Höhe zu bezahlen. Ist der Spitalsaufenthalt jedoch Folge eines gemeldeten Arbeitsunfalls, entfällt dieser Kostenbeitrag bzw wird auf Antrag rückerstattet.

Weiters werden alle Transport-/Fahrtkosten auf Verlangen ganz oder teilweise ersetzt.

Sind danach zur Rehabilitation des/der Verletzten Prothesen nötig oder werden berufliche oder soziale Maßnahmen (zB Umschulung, behindertengerechte Adaptierung der Wohnung) erforderlich, erbringt die Unfallversicherung äußerst umfangreiche Leistungen → all das jedoch nur, wenn der Arbeitsunfall *gemeldet* wurde.

Bei sehr schweren Verletzungen durch einen Arbeitsunfall kann schon bald nach diesem auch ein Anspruch auf finanzielle Leistungen (Renten)aus der Unfallversicherung entstehen → wenn der Arbeitsunfall *gemeldet* wurde.

Die Unfallmeldung ist ein entscheidendes Beweismittel, falls später – nach Jahren – Spätfolgen des Unfalls auftreten sollten, die eine Behandlung nötig machen oder gar die Erwerbsfähigkeit mindern.

Darüber hinaus liegt der Wert der Unfallmeldung darin,

- Informationen über die Häufigkeit bestimmter Unfallarten und -hergänge zu erhalten;
- dadurch gezielte Vorbeugungs- und Aufklärungsmaßnahmen zu ermöglicht und ev
- in der Zukunft bessere Regeln und Vorschriften zu initiieren.

→ Unfallmeldungen dienen nicht für Strafmaßnahmen oder zur behördlichen Kontrolle!

32.3 Strafrechtliche Relevanz chemischer Arbeit

32.3.1 Strafgerichtlich eingeforderte Verantwortung

Bestimmte Delikte werden von der Gesellschaft als so schwerwiegend angesehen, dass sie ihre Verfolgung dem öffentlichen Ankläger übertragen und ihre Bestrafung den Strafgerichten zugewiesen hat. Das wichtigste dabei anzuwendende Gesetz ist das **Strafgesetzbuch** (StGB). Die folgenden Auszüge sind sprachlich vereinfacht und beziehen sich primär auf **fahrlässig** (und nicht auf vorsätzlich) begangene Delikte.

Der Begriff der **Fahrlässigkeit** (**§ 6 StGB**)

„**Fahrlässig** handelt, wer *jene* Sorgfalt außer acht lässt, zu der er/sie nach den Umständen verpflichtet und nach seinen/ihren geistigen und körperlichen Verhältnissen befähigt ist und die ihm/ihr zuzumuten ist, und deshalb nicht erkennt, dass er/sie einen Sachverhalt verwirklichen könne, der einem gesetzlichen Tatbild entspricht. Fahrlässig handelt auch, wer es für möglich hält, dass er/sie einen solchen Sachverhalt verwirkliche, ihn aber nicht herbeiführen will.“

Beispiel: Entsprechend dem Stand Ihrer Ausbildung in Chemie und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Sie Lehrveranstaltungen über Arbeitschutz und Sicherheitstechnik beim chemischen Arbeiten absolviert haben, würde im Streitfall das Gericht bei Ihnen eine größere Sorgfalt voraussetzen, zu der Sie verpflichtet und befähigt sind und die Ihnen zuzumuten ist, als beispielsweise bei einer Person, die sich nicht auf die akademische Berufsausübung als ChemikerIn vorbereitet oder die nicht chemisch arbeitet.

§ 88 StGB Fahrlässige Körperverletzung

Wer fahrlässig einen anderen am Körper verletzt oder an seiner Gesundheit **schädigt,** ist mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Monaten zu bestrafen, wenn die Gesundheitsschädigung mehr als drei Tage dauert. Erfolgte dies unter besonders gefährlichen Verhältnissen (zB bei

einer als gefährlich bekannten Laborarbeit) oder nach Berauschung, ist eine Freiheitsstrafe bis zu 6 Monaten zu verhängen. Hat die Tat eine **schwere Körperverletzung** (zB: länger als 24 Tage dauernde Gesundheitsschädigung) zur Folge, sind Strafen bis zu 2 Jahren vorgesehen.

§ 89 StGB Gefährdung der körperlichen Sicherheit

Wer unter besonders gefährlichen Verhältnissen (oder nach einer die Zurechnungsfähigkeit nicht ausschließenden Berauschung) – wenn auch nur fahrlässig – eine **Gefahr** für Gesundheit, Leben oder körperliche Sicherheit eines anderen **herbeiführt,** ist mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Monaten zu bestrafen. **Eine tatsächliche Schädigung muss nicht eingetreten sein**, wohl aber eine konkrete Gefährdung, die nicht bloß allgemein, sondern auch und gerade im besonderen Fall einen Personenschaden befürchten ließ.

§ 85 StGB Körperverletzung mit schweren Dauerfolgen

Hat eine Körperverletzung für lange Zeit oder für immer den Verlust oder eine schwere Schädigung der Sprache, des Sehvermögens, des Gehörs, eine erhebliche Verstümmelung oder eine auffallende Verunstaltung oder ein schweres Leiden des Geschädigten zur Folge, so ist der Täter mit Freiheitsstrafe von 6 Monaten bis zu 5 Jahren zu bestrafen.

§ 80 StGB Fahrlässige Tötung

Wer fahrlässig den Tod eines anderen herbeiführt, ist mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr zu bestrafen. Geschieht dies jedoch unter besonders gefährlichen Verhältnissen (**§ 81**: Fahrlässige Tötung unter besonders gefährlichen Verhältnissen), ist mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren zu bestrafen.

§ 95 StGB Unterlassung der Hilfeleistung

Wer es bei einem Unglücksfall oder einer Gemeingefahr (das ist eine Gefahr für Leib oder Leben einer größeren Zahl (~ 10) von Menschen) **unterlässt**, die zur Rettung eines Menschen aus der Gefahr des Todes oder einer beträchtlichen Körperverletzung oder Gesundheitsschädigung offensichtlich erforderliche **Hilfe zu leisten**, ist mit Freiheitsstrafe bis zu 6 Monaten, wenn die Unterlassung der Hilfeleistung jedoch den Tod eines Menschen zur Folge hat, mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr zu bestrafen, es sei denn, dass die Hilfeleistung der Person nicht zuzumuten ist. Die Hilfeleistung ist insbesondere dann nicht zuzumuten, wenn sie nur unter Gefahr für Leib oder Leben möglich wäre.

§ 170 StGB Fahrlässige Herbeiführung einer Feuersbrunst

Jeder, der an einer fremden Sache fahrlässig eine **Feuersbrunst** (das ist ein Brand, den der Mensch nicht mehr in seiner Gewalt hat, dh bei dem die Gefahr der weiteren Ausbreitung gegeben ist) **verursacht,** ist mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr zu bestrafen.

Abs 2: Ist dadurch ein Mensch zu Tode gekommen oder wurde eine größere Zahl von Menschen (~ 10 Personen) schwer verletzt oder wurden viele Menschen in Not versetzt, ist die Tat mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren zu bestrafen.

§ 172 StGB Fahrlässige Gefährdung durch (...) ionisierende Strahlen

Wer fahrlässig bewirkt, dass durch **freiwerdende ionisierende Strahlen** (oder radioaktive Stoffe) eine Gefahr für Gesundheit eines anderen oder für fremdes Eigentum in großem Maß entsteht, wird analog § 170 bestraft.

§ 174 StGB Fahrlässige Gefährdung durch Sprengmittel

Wer einen **Explosivstoff** fahrlässig zur Explosion bringt und dadurch eine Gefahr für Gesundheit eines anderen oder für fremdes Eigentum in großem Ausmaß herbeiführt, ist analog § 170 zu bestrafen.

§ 177 StGB Fahrlässige Gemeingefährdung

Wer auf andere Weise als in §§ 170, 172 und 174 fahrlässig eine **Gefahr** für Leben, Gesundheit oder körperliche Sicherheit einer größeren Zahl von Menschen oder für fremdes Eigentum in großem Ausmaß **herbeiführt,** wird analog § 170 bestraft.
Beispiel: Fahrlässige Freisetzung einer giftigen Substanz oder gefährlicher (Mikro)Organismen. Ein tatsächlicher Schaden muss nicht eingetreten sein.

§ 177b StGB Unerlaubter Umgang mit (...) radioaktiven Stoffen oder Strahleneinrichtungen

Wer entgegen einer Rechtsvorschrift oder einem behördlichen Auftrag radioaktive Stoffe oder Strahleneinrichtungen so herstellt, aufbewahrt, befördert oder verwendet, dass eine Gefahr für das Leben eines Menschen oder für die Gesundheit oder körperliche Sicherheit einer größeren Zahl (~ 10) von Menschen oder eine erhebliche Gefahr für den Tier- oder Pflanzenbestand oder eine lang andauernde Verschlechterung des Zustands eines Gewässers, des Bodens oder der Luft oder ein Dekontaminationsaufwand von mehr als 50.000 Euro **entstehen kann**, ist mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren zu bestrafen. Wer die Handlung fahrlässig begeht, ist (nach **§ 177c**) mit bis zu 2 Jahren zu bestrafen.
Zu beachten sind jedenfalls das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung sowie alle darauf beruhenden Bescheide. Ein tatsachlicher Schaden muss nicht eingetreten sein.

§ 179 StGB Fahrlässige Gefährdung von Menschen durch übertragbare Krankheiten

Wer fahrlässig eine Handlung begeht, die geeignet ist, die Gefahr der Verbreitung einer übertragbaren Krankheit unter Menschen herbeizuführen, ist mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr zu bestrafen, wenn die Krankheit ihrer Art nach zu den wenn auch nur beschränkt anzeige- oder meldepflichtigen Krankheiten gehört.
Dieses Tatbild könnte auch in besonderen Fällen der medizinischen oder molekularbiologischen Forschung verwirklicht werden. Ein tatsachlicher Schaden muss nicht eingetreten sein. Siehe auch den verwandten Tatbestand nach § 177 StGB.

§ 181 StGB Fahrlässige Beeinträchtigung der Umwelt

Wer fahrlässig entgegen einer Rechtsvorschrift oder entgegen einem behördlichen Auftrag [*– siehe weiter unten] ein **Gewässer, Boden oder Luft so verunreinigt** oder sonst beeinträchtigt, dass eine Gefahr oder ein Schaden wie in § 177b beschrieben entstehen kann, ist mit Freiheitsstrafe bis zu 2 Jahren zu bestrafen.

§ 181c StGB Fahrlässiges umweltgefährdendes Behandeln oder Verbringen von Abfällen

Wer fahrlässig entgegen einer Rechtsvorschrift [*] (zB Wiener Kanalgrenzwert-Verordnung, Abfallwirtschaftsgesetz) oder entgegen einem behördlichen Auftrag [*] **Abfälle** so behandelt, lagert, befördert, **ablässt** oder sonst beseitigt [oder eine beliebige **Anlage**, die Schadstoffe freisetzt, zB ein Laboratorium, grob fahrlässig so betreibt (**§ 181e**)], dass eine Gefahr oder ein Schaden wie in § 177b beschrieben entstehen kann, ist mit Freiheitsstrafe bis zu 1 Jahr zu bestrafen.

§ 183 StGB Andere Gefährdungen des Tier- oder Pflanzenbestandes

Wer fahrlässig entgegen einer Rechtsvorschrift [*] oder einem behördlichen Auftrag [*] auf andere Weise eine erhebliche Gefahr für den Tier- oder Pflanzenbestand herbeiführt oder die Gefahr der Verbreitung eines für den Tier- oder Pflanzenbestand gefährlichen Krankheitserregers herbeiführt, ist mit Freiheitsstrafe bis zu 6 Monaten zu bestrafen.

[*] = Hat sich der Täter mit einer Rechtsvorschrift oder einem behördlichen Auftrag **nicht bekannt gemacht,** obwohl er seinem Beruf (zB ChemikerIn !), seiner Beschäftigung oder sonst den Umständen nach dazu verpflichtet gewesen wäre, so ist er trotzdem im selben Ausmaß zu bestrafen (**§ 183a StGB**).

Sämtliche der zuletzt genannten Tatbestände sind im StGB auch als vorsätzliche Handlungen mit Strafe bedroht, wobei der Strafrahmen dann wesentlich höher ist.

32.3.2 Verwaltungsstrafrechtliche Verantwortlichkeit

Für verschiedenste Tatbestände sehen Verwaltungsgesetze Strafbestimmungen vor, die in Form einer Verwaltungsstrafe durch die Behörde verhängt werden. Verwaltungsstrafen sind angedroht zB

- für die Verunreinigung von Wasser, Boden bzw Luft,
- den Verstoß gegen das Abfallwirtschaftsgesetz (Entsorgung gefährlicher Abfälle),
- den Verstoß gegen die Giftverordnung (Beschaffung, Aufbewahrung und Verschluss von Giften, Führung von Aufzeichnungen, Unterweisung der Arbeitenden...)
- den Verstoß gegen feuerpolizeiliche Vorschriften,
- den Verstoß gegen Lagervorschriften oder Transportvorschriften für gefährliche Stoffe,
- den Verstoß gegen Strahlenschutz-Vorschriften oder Gentechnik-Vorschriften
- usw. Die Liste von möglichen Verwaltungsübertretungen lässt sich sehr lang fortsetzen.

32.4 Zivilrechtliche Relevanz chemischen Arbeitens

Neben der strafrechtlichen Verantwortung besteht unter Umständen eine privatrechtliche Haftung des Schädigers, die sich zB in der Pflicht zur Leistung von *Schadenersatz* ausdrücken kann. Diese Haftung wird nur auf Betreiben (Klage) des Geschädigten aktuell. Sie wird im Streitfall durch das Urteil eines Zivilgerichtes festgelegt.